Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 4, Winter 2024, p. 459-484

The Effect of Seed Pretreatment and Foliar Application of Growth Regulators and Potassium Nitrate on Physiological, Biochemical Characteristics, Yield and Yield Components of Borage (*Borago officinalis* L.)

M. Bolandi[1], P. Sheikhzadeh[2*], S. Khomari[3], N. Zare[3], J. Sharifi[4]

1- Ph.D Student of Plant Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- Assistant Professor of Research, Agricultural and Natural Resources Research Center of Ardabil, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: p_sheikhzadeh@uma.ac.ir)

Received: 06 June 2023 Revised: 23 July 2023 Accepted: 01 August 2023	**How to cite this article:** Bolandi, M., Sheikhzadeh, P., Khomari, S., Zare, N., & Sharifi, J. (2024). The Effect of Seed Pretreatment and Foliar Application of Growth Regulators and Potassium Nitrate on Physiological, Biochemical Characteristics, Yield and Yield Components of Borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(4), 459-484. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.82741.1251

Introduction

Seed pretreatment is one of the simple techniques that can increase seed vigor and seedling establishment, and thus plant yield. Seed pretreatment can be done with water (hydropriming), inorganic salts such as potassium nitrate (halopriming), and growth regulators such as salicylic acid (hormone priming) and ascorbic acid (vitamin priming). Another effective factor in producing strong seeds is proper nutrition of the mother plants. Proper nutrition of the maternal plant in the form of foliar sprays with essential elements leads to the production of high-quality seeds, which affects germination and yield. Considering the positive role of seed pretreatment in improving germination rate and seedling establishment, and increasing seed yield of various plants as a result of foliar application of growth regulators and inorganic salts, this experiment was conducted to study the effect of seed pretreatment and foliar spraying with salicylic acid, ascorbic acid and potassium nitrate on improving physiological and biochemical characteristics, yield and yield components of borage.

Materials and Methods

The experiment was conducted in 2017-2018 cropping year as a randomized complete block design with three replicates at Samian Ardabil Natural Resources and Medicinal Plants Research Farm. The experimental treatments were water pretreatment for 48 hours, seed pretreatment with ascorbic acid (0.85 mM) for 48 hours, seed pretreatment combined with foliar spray with ascorbic acid (0.85 mM), seed pretreatment with salicylic acid (4 mM) for 60 hours, seed pretreatment combined with foliar spray with salicylic acid (4 mM), seed pretreatment with potassium nitrate (20 mM) for 24 hours, seed pretreatment combined with foliar spray with potassium nitrate (20 mM), and control treatment (without seed pretreatment and without foliar spray of the maternal plant). Statistical analyses were performed using SAS software (Ver 9.1) and comparison of means was performed using the Duncan multiple range test at the 1 and 5 percent probability level.

Results and Discussion

The results showed that although pretreatment of seeds by improving growth, physiological and biochemical

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.82741.1251

characteristics cause increased yield and yield components of borage but, seed pretreatment combined with foliar sprays had a greater effect on increasing yield components and flower and grain yield due to synergistic effects. The use of potassium nitrate as a seed pretreatment in combination with foliar sprays had the greatest effect on increasing the amount of photosynthetic pigments, caused a 2.3-fold increase in total chlorophyll and a 1.8-fold increase in carotenoids compared to the control treatment. The use of ascorbic acid as a seed pretreatment in combination with foliar sprays increased the amount of proline a 2.3 fold, leaf protein a 2.5 fold, and flower yield a 3.8 fold compared to the control treatment. Application of salicylic acid as a seed pretreatment in combination with foliar sprays by increasing the components of seed yield had the greatest effect in increasing grain yield and caused a 3.4-fold increase in grain yield compared to the control. Seed hydropriming showed the highest seed weight among the treatments with a 28% increase in 1,000-seed weight compared to the control treatment.

Conclusion

The results of this study indicate that both seed pretreatment and foliar sprays of maternal plants with growth regulators and chemical stimulants led to an increase in flower and grain yield in borage. This increase was achieved by enhancing the levels of photosynthetic pigments, the quantum efficiency of photosystem II, the accumulation of amino acids like proline, and soluble proteins in the leaves. These treatments also had a positive impact on various yield components. While seed pretreatment alone had a positive effect on borage yield and its components by improving the plant's growth, physiological, and biochemical characteristics, the combined use of ascorbic acid, salicylic acid, and potassium nitrate as seed pretreatment, along with foliar spray, had an even more pronounced positive effect. This was likely due to synergistic effects on the plant's physiological, biochemical, and yield traits.

Keywords: Ascorbic acid, Photosynthetic pigments, Proline, Protein, Salicylic acid

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ٤٥۹-٤٨٤

تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

ماهرخ بلندی[۱]، پریسا شیخ زاده[۲*]، سعید خماری[۳]، ناصر زارع[۳]، جابر شریفی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و نیترات پتاسیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقات منابع طبیعی، گیاهان دارویی سامیان اردبیل اجرا شد. تیمارها شامل پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با استفاده از اسید آسکوربیک (۰/۸۵ میلی‌مولار)، اسید سالیسیلیک (۴ میلی‌مولار)، نیترات پتاسیم (۲۰ میلی‌مولار) و پیش‌تیمار بذر با استفاده از اسید آسکوربیک (۰/۸۵ میلی‌مولار) به‌مدت ۴۸ ساعت، اسید سالیسیلیک (۴ میلی‌مولار) به‌مدت ۶۰ ساعت، نیترات پتاسیم (۲۰ میلی‌مولار) به‌مدت ۲۴ ساعت، آب مقطر به‌مدت ۴۸ ساعت و شاهد (بدون پیش‌تیمار بذر و بدون محلول‌پاشی) بودند. نتایج نشان داد، اگرچه پیش‌تیمار بذور با بهبود خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی شد اما پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی به‌دلیل اثرات هم‌افزایی تأثیر بیشتری در افزایش اجزای عملکرد، عملکرد گل و دانه داشت. کاربرد نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بیشترین تأثیر را در افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت و موجب افزایش ۲/۳ برابری میزان کلروفیل کل و ۱/۸ برابری کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد شد. استفاده از اسید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی موجب افزایش ۲/۳ برابری مقدار پرولین، ۲/۵ برابری پروتئین برگ و ۳/۸ برابری عملکرد گل در مقایسه با تیمار شاهد شد. پیش‌تیمار آبی بذور، بیشترین وزن هزاردانه را در بین تیمارها نشان داد و موجب افزایش ۲۸ درصدی وزن هزاردانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی با افزایش تعداد میوه در بوته و تعداد دانه در واحد سطح، بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد دانه داشت و در مقایسه با تیمار شاهد، باعث افزایش ۳/۴ برابری عملکرد دانه شد.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک، پروتئین، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقدمه

امروزه با وجود تولید و کاربرد فراوان داروهای مختلف شیمیایی، هنوز مصرف داروهای گیاهی در بین مردم جهان دارای ارزش و جایگاه ویژه‌ای می‌باشد و افزایش مصرف گیاهان دارویی در صنایع دارویی و غذایی، موجب گسترش مطالعات بر روی کشت و پرورش آن‌ها، بهبود عملکرد و افزایش محصول‌دهی و فرآورده‌های دارویی این گیاهان در سرتاسر دنیا شده است (Fani & Hajihashemi, 2020).

گاوزبان اروپایی با نام علمی (*Borago officinalis* L.) گیاهی دارویی از تیره گاوزبان، علفی و یک‌ساله، بومی نواحی مدیترانه و اروپای مرکزی است و به‌دلیل خواص دارویی فراوان آن در سرتاسر جهان کشت می‌شود. گلبرگ‌های گاوزبان جهت درمان سرفه، گلو درد، کاهش ناراحتی‌های گوارشی و قلبی عروقی، درمان برونشیت و زخم‌های پوستی استفاده می‌شوند. برگ‌ها خاصیت ضد افسردگی، ضد

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: p_sheikhzadeh@uma.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.82741.1251

استرس و ضد التهاب دارند و به‌عنوان آرام‌بخش و تسکین‌دهنده قلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندام‌های هوایی آن دارای خواص آنتی‌بیوتیکی می‌باشند و در پیشگیری از سرطان نقش مؤثری دارند و به‌دلیل محتوای موسیلاژ بالایی که دارند برای مشکلات تنفسی نیز استفاده می‌شوند (Shahbazi, Salehi, Hazrati, & Movahedi Dehnavi, 2019). روغن بذر گاوزبان غنی از اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد که برای درمان بیماری‌های مختلف مانند رماتیسم، دیابت، اگزما و دیگر ناراحتی‌های پوستی مزمن استفاده می‌شود (Asadi Samani, Bahmani, & Rafieian Kopaei, 2014).

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها یکی از حساس‌ترین مرحله نموی در چرخه رشدی گیاهان می‌باشد که در تعیین تراکم و یکنواختی گیاهچه‌ها و حصول عملکرد مطلوب در گیاهان نقش عمده‌ای دارد. بسیاری از گیاهان دارویی مانند گاوزبان اروپایی در شرایط مزرعه‌ای، با مشکل جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها مواجه می‌باشند زیرا بذر اکثر گونه‌های گیاهان دارویی برخلاف گیاهان زراعی از جوانه‌زنی ضعیف و غیریکنواخت برخوردار هستند (Mahmoudi, Sheikhzadeh Mosaddegh, Zare, & Esmaielpour, 2019). بنابراین به‌کار بردن تکنیک‌های بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه، به داشتن تراکم و عملکردی بهتر، در کشت گیاهان دارویی کمک می‌کند. پیش‌تیمار بذر یکی از تکنیک‌های ساده‌ای است که می‌تواند موجب افزایش بنیه و قدرت بذر و استقرار گیاهچه‌ها و به‌دنبال آن عملکرد گیاهان باشد (Dalil, 2014). درواقع پیش‌تیمار بذر یک روش ساده فیزیولوژیک، اقتصادی و قابل‌توصیه به کشاورزان برای افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، سبز شدن بذور و استقرار گیاهچه، افزایش رقابت با علف‌های هرز و افزایش عملکرد از طریق استقرار بیشتر بوته‌ها و افزایش تراکم محصول تحت شرایط محیطی مختلف می‌باشد که موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Fathi & Hasanpour, 2019). محققان گزارش کردند پیش‌تیمار بذور منجر به تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی به‌نفع جوانه‌زنی می‌شود، بخشی از کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها در اثر فعالیت آنزیم‌ها و واکنش‌های هیدرولیزکننده شکسته و در فرآیند جوانه‌زنی آماده مشارکت می‌شوند، در نتیجه بذور در طی زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش داده و با جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید بخش‌های سبز فتوسنتزکننده موجب بهبود روند رشد و نمو و افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bahram Nejad & Saffari, 2014). پیش‌تیمار بذر می‌تواند با استفاده از آب (هیدروپرایمینگ)، نمک غیرآلی مانند نیترات پتاسیم (هالوپرایمینگ) و تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند اسید سالیسیلیک (هورمون‌پرایمینگ) و اسید آسکوربیک (ویتامین‌پرایمینگ) باشد (Lawan Gana, Nulit, Ibrahim, & Yong Seok Yien, 2021; El-Hawary, Hashem, & Hasanuzzaman, 2023). هیدروپرایمینگ بذر موجب تغییرات زیستی و فیزیولوژیکی متعدد در بذور می‌شود که موجب بهبود رفتار جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی مانند متوسط زمان جوانه‌زنی، بنیه بذر، استقرار اولیه و طول گیاهچه و در نتیجه افزایش بهره‌برداری گیاهچه‌ها از نهاده‌ها، زودرسی و افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول می‌گردد (Aboutalebian, Ekbatani, & Sepehri, 2012; Abbas Dokht, Gholami, & Asghari, 2014). اسید سالسیلیک یکی از هورمون‌های مهم گیاهی می‌باشد که نقش مؤثری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مانند رشد و نمو گیاه، جذب یون‌ها، فتوسنتز و جوانه‌زنی دارد و تحت تنش‌های محیطی، فعالیت گونه‌های اکسیژن فعال تولید شده در گیاهان را کاهش داده و موجب افزایش مقاومت در گیاهان می‌شود (Parmoon, Ebadi, Ghaviazm, & Miri, 2013). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یکی از محرک‌ها یا الیستورها، از طریق افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های ریشه باعث افزایش رشد، نمو و عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی، باغی و دارویی می‌گردد (Ghasemi Pirbalouti, Samani, Hashemi, & Zeinali, 2014). محققان گزارش دادند، پیش‌تیمار بذر رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.) با اسید سالیسیلیک، موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه و عملکرد دانه شد (Bahram Nejad & Saffari, 2014). اسید آسکوربیک از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی با وزن مولکولی پایین می‌باشد که در فرآیندهای رشدی و نموی گیاه نقش به‌سزایی دارد و در فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی مانند تنظیم رشد، تمایز و متابولیسم گیاه مشارکت می‌کند و به‌طور مستقیم، موجب سمیت‌زدایی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد و از طریق واکنش آسکوربات پراکسیداز باعث احیای پراکسید هیدروژن به آب می‌شود که موجب محافظت از گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Rouhi, Vafaei, Saman, & Shahbodaghloo, 2021). محققان بهبود جوانه‌زنی بذرهای کبر (*Capparis spinosa*) را در نتیجه پیش‌تیمار بذر با اسید آسکوربیک گزارش دادند (Heydarian *et al*., 2014). محققان در مطالعه‌ای گزارش کردند، پیش‌تیمار بذر همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) با استفاده از اسید آسکوربیک، به‌دلیل جوانه‌زنی، سبز شدن، استقرار سریع‌تر بوته‌ها و استفاده بهتر از منابع موجود، ارتفاع بوته، وزن خشک و عملکرد دانه بیشتری نشان دادند (Helali Soltanahmadi, Amerian, Ghiyasi, & Abbasdookht, 2018). نیترات پتاسیم یکی از پرمصرف‌ترین مواد شیمیایی برای افزایش جوانه‌زنی بذرها می‌باشد و تأثیر مثبت این محرک‌های شیمیایی بر جوانه‌زنی بذرها، احتمالاً می‌تواند به‌دلیل کاهش مواد بازدارنده رشد مانند آبسزیک اسید و به‌تعادل رسیدن نسبت هورمونی در بذور باشد (Ghasemi Pirbaloti, Golparvar, Ryazdehkordi, & Navid, 2007). نیترات پتاسیم با بیوسنتز اکسین، باعث شروع رویش جنین می‌گردد و به‌دنبال آن افزایش

قدرت جوانه‌زنی، بهبود سرعت رشد و افزایش عملکرد گیاه را سبب می‌شود (Boniadi & Jalili, 2014). دست‌برهان و همکاران (Dastborhan, Ghassemi Golezani, & Yeganehpoor, 2019) گزارش دادند، پیش‌تیمار بذر گاوزبان اروپایی با آب و نیترات پتاسیم، با افزایش سرعت سبز شدن گیاهچه، شاخص سطح برگ و افزایش دوره رشد گیاه، منجر به تولید گیاهانی بزرگ‌تر شد.

یکی دیگر از عوامل مؤثر در تولید بذرهای با قدرت بالا، تغذیه مناسب بوته‌های مادری می‌باشد. تغذیه مناسب گیاه مادری به‌صورت برگی با عناصر ضروری، موجب تولید بذرهایی با کیفیت بالا می‌شود که اندازه بذر، ترکیبات شیمیایی، جوانه‌زنی و عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Rostami, Javadi, & Hosseinizadeh, 2020). جهت تغذیه گیاه مادری، مواد غذایی را می‌توان به‌شکل محلول‌پاشی به‌طور مستقیم در اختیار برگ‌های گیاه قرار داد که این امر موجب توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول می‌شود (Gholami, Parsa, Khajeh Hosseini, & Khazaie, 2018). محققان گزارش دادند محلول‌پاشی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با اسید سالیسیلیک میزان فتوسنتز برگ را افزایش داده و مواد پرورده بیشتری از برگ به دانه منتقل می‌کند و در نتیجه موجب رشد بهتر و افزایش عملکرد دانه می‌شود (Sartip & Sirousmehr, 2017). یدالهی و همکاران (Yadollahi, Asgharipour, & Sheikhpour, 2015)، گزارش کردند، کاربرد برگی اسید آسکوربیک در ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه، موجب افزایش میزان و فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی شد که این امر منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکردی آن گردید. محققان گزارش کردند، استفاده از نیترات پتاسیم به‌صورت محلول‌پاشی برگی، با افزایش سطح برگ، میزان فتوسنتز و پروتئین محلول در برگ، موجب بهبود رشد و افزایش وزن تر و خشک بوته گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) شد (Jabeen & Ahmad, 2011).

بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه برخی از گیاهان دارویی مانند آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak)، (Abdi, Asghari, Tolyat Abolhassani, Amerian, & Naghdi Bodi, 2022)، گلرنگ (Heydari, Tohidimoghaddam, Ghooshchi, Modarres Sanavy, & Kasraei, 2023) و زعفران (*Crocus sativus* L.)، (Tabatabaeian, Hassanian Badi, & Kadkhodaee, 2020) در اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم گزارش شده است. با توجه به نقش مثبت پیش‌تیمار بذر در بهبود سرعت سبز شدن و استقرار گیاهچه در مزرعه و افزایش عملکرد دانه گیاهان مختلف در نتیجه محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و نمک غیرآلی، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم بر بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر با استفاده از آب مقطر، اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم و تغذیه بوته‌ی مادری به‌صورت محلول‌پاشی برگی با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد اسید آسکوربیک و سالیسیلیک اسید و نمک غیرآلی نیترات پتاسیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی، آزمایشی در بهار سال زراعی ۱۳۹۶ به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقات منابع طبیعی و گیاهان دارویی سامیان اردبیل (واقع در ۱۵ کیلومتری جاده اردبیل- مشگین‌شهر) با مختصات ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه عرض جغرافیایی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا اجرا شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ و داده‌های هواشناسی و بارندگی در طول دوره‌ی اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of the farm soil

Growing year	Soil texture	pH	Soil organic matter (g dm^{-3})	Salinity (dS.m^{-1})	Zn^{2+} (mg kg^{-1})	K^{+} (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	CaO	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Total Nitrogen (%)	Base saturation (%)
2017	Sand loam	7.8	11.2	0.34	18	214	7.2	0.08	28	43	29	14.2	40

جدول ۲- اطلاعات اقلیمی محل انجام آزمایش (اردبیل- ایران)
Table 2- Climatic information of the experimental site (Ardabil, Iran)

Year 2017	Mean temperature (°C)	Precipitation (mm)
April	8	59.6
May	15	29.7
June	17	14.2
July	19.6	2.2
August	19.8	1.2
September	18.5	6.4

بذرهای گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان (توده هشتگرد) تهیه شدند. تیمارهای مورد مطالعه شامل پیش‌تیمار آبی به‌مدت ۴۸ ساعت (Mahmoudi, Sheikhzadeh Mosaddegh, Zare, & Esmaielpour, 2017)، پیش‌تیمار بذر با استفاده از اسید آسکوربیک (۰/۸۵ میلی‌مولار) به‌مدت ۴۸ ساعت (Sheikhzadeh, Shafiyar, Khomari, & Mohammad Doost, 2019)، پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی برگی بوته مادری با استفاده از اسید آسکوربیک (۰/۸۵ میلی‌مولار)، پیش‌تیمار بذر با استفاده از اسید سالیسیلیک (۴ میلی‌مولار) به‌مدت ۶۰ ساعت (Mahmoudi *et al.*, 2019)، پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی برگی بوته مادری با استفاده از اسید سالیسیلیک (۴ میلی‌مولار)، پیش‌تیمار بذر با استفاده از نیترات پتاسیم (۲۰ میلی‌مولار) به‌مدت ۲۴ ساعت (Eini, Sheikhzade, Zare, & Samadzadeh, 2017)، پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی برگی بوته مادری با استفاده از نیترات پتاسیم (۲۰ میلی‌مولار) و تیمار شاهد (بدون پیش‌تیمار بذر و بدون محلول‌پاشی بوته مادری) بودند. جهت اعمال تکنیک‌های پرایمینگ بذر، بعد از تهیه غلظت‌های تعیین‌شده، بذرها در ارلن‌های حاوی این محلول‌ها خیسانده شدند و برای مدت زمان مشخص‌شده در انکوباتوری با دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. بعد از پایان زمان تعیین‌شده، بذرهای پرایم‌شده با آب مقطر شسته شده و تا رسیدن به رطوبت اولیه در دمای آزمایشگاه (۲۰ تا ۲۲ درجه سلسیوس) خشکانده شدند. محلول‌پاشی برگی بوته‌های مادری با اسید آسکوربیک (۰/۸۵ میلی‌مولار)، اسید سالیسیلیک (۴ میلی‌مولار) و نیترات پتاسیم (۲۰ میلی‌مولار) در اوایل مرحله گلدهی (۵۰ روز پس از کاشت) در ساعات خنک روز (صبح زود قبل از ساعت ۱۰ صبح، در هوای صاف و آرام) با استفاده از سم‌پاش پشتی کالیبره‌شده انجام شد.

در این آزمایش، بعد از عملیات آماده‌سازی زمین مانند شخم، دیسک‌زنی، تسطیح زمین با ماله، کرت‌بندی زمین انجام گرفت. هر کرت آزمایشی به‌طول ۳/۵ متر و با ۵ خط کاشت به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و با تراکم ۱۴ بوته در مترمربع (Shekari, Baljani, Saba, Afsah, & Shekari, 2010) در نظر گرفته شد و بذرهای گاوزبان اروپایی در اوایل بهار (۸ اردیبهشت) در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر و با فاصله ۱۵ سانتی‌متر روی ردیف به‌صورت دستی کاشته شدند. اولین آبیاری بعد از کشت بذرها انجام شد و پس از آن برحسب نیاز گیاه و شرایط آب و هوایی (در صورت بارندگی و سردی هوا در ماه‌های اول کشت، آبیاری با تأخیر انجام می‌گرفت) به‌فاصله هر ۷ روز یک‌بار، به‌صورت نشتی در جوی‌های ایجادشده بین ردیف‌های کاشت انجام گرفت و علف‌های هرز مزرعه در طول فصل رشد سه بار به روش دستی وجین شدند.

برای تعیین عملکرد گل، در مرحله گلدهی کامل بوته‌ها، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، گل‌های واقع در یک مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت شدند. برداشت گل‌ها در سه نوبت انجام گرفت و در نهایت مجموع برداشت در سه مرحله به‌عنوان عملکرد گل در نظر گرفته شد. بعد از اتمام فصل رشد و رسیدگی نهایی بوته‌ها در اواخر مرداد، از هر واحد آزمایشی پنج بوته به‌طور تصادفی برداشت شده و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه گل‌دار، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شدند. در مرحله رسیدگی نهایی، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های واقع در یک مترمربع از هر واحد آزمایشی برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح تعیین گردید.

به‌منظور تعیین مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای اسیدآمینه پرولین و پروتئین کل برگ، ده روز قبل از برداشت نهایی بوته‌ها از مزرعه، نمونه‌هایی از برگ‌های جوان تهیه کرده و تا زمان اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی، در فریزر ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. جهت اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ‌ها، ۰/۱ گرم از بافت برگی تازه با استون ۸۰ درصد سائیده و به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ (Centurion Scientific Ltd, Model 2041 series, Mode in United Kingdom) شد و جذب نوری در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد و مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها طبق رابطه‌های (۱) تا (۴) محاسبه شدند (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a } (mg.g^{-1}\ FW) = (12.71 \times A663 - 2.69 \times A645)/10 \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b } (mg.g^{-1}\ FW) = (22.09 \times A645 - 4.68 \times A663)/10 \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll t } (mg.g^{-1}\ FW) = \text{chlorophyll a} + \text{chlorophyll b} \quad (۳)$$

$$\text{Carotenoids} = (mg.g^{-1}\ FW) = ((100 \times A470) - (0.327 \times Chla) - (10.4 \times Chlb))/229 \quad (۴)$$

پارامترهای فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه‌یافته یک

هفته بعد از محلول‌پاشی، با استفاده از دستگاه فلورومتر اندازه‌گیری شد. بدین منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس فلورسانس حداقل و فلورسانس حداکثر در برگ‌های سازگارشده به تاریکی اندازه‌گیری شدند و میزان فلورسانس متغیر و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) با استفاده از رابطه (۵)، تعیین گردید (Ahmadi & Bahrani, 2009).

$$Fv/Fm = (Fm - F0)/Fm \text{ و } Fv = Fm - F0 \qquad (۵)$$

در این معادله، Fv فلورسانس متغیر، Fm فلورسانس حداکثر و F0 فلورسانس حداقل در نظر گرفته شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای اسیدآمینه پرولین، مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی تازه در ۵ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد سائیده شد و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. به ۱ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۱ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین اسیدی و ۱ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال خالص اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم نگهداری شد. با قرار گرفتن لوله‌های آزمایش در حمام یخ واکنش شروع شد. سپس ۲ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط واکنش اضافه شد، نمونه‌ها به‌مدت ۲ دقیقه ورتکس شدند. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates, Waldren, & Tear, 1973).

برای سنجش غلظت پروتئین محلول از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. بدین‌منظور ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی (برای استخراج عصاره پروتئینی، ۰/۱ گرم نمونه‌های برگ تازه در نیتروژن مایع پودر گردید و در بافر ۱۰۰ میلی‌مولار فسفات پتاسیم با pH = 7.8 همگن شدند. سوسپانسیون حاصل با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. محلول رویی برای اندازه‌گیری پروتئین استفاده شد) به ۹۵۰ میکرولیتر محلول برادفورد (برای تهیه بافر برادفورد، ۲۰ میلی‌گرم coomassie brilliant blue G-250 به ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد و ۲۰ میلی‌لیتر اسید اورتوفسفریک ۸۵ درصد اضافه شد. این محلول با استفاده از آب به حجم نهایی ۲۰۰ میلی‌لیتر رسید) اضافه شد، سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

در این آزمایش، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver 9.1) صورت گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد. ضرایب همبستگی اسپیرمن بین صفات نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS محاسبه گردید و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 انجام گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته‌های مادری بر میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

پیش‌تیمار بذر گاوزبان اروپایی و تغذیه بوته‌های مادری به‌صورت محلول‌پاشی برگی با تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم، باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گاوزبان اروپایی شد. با توجه به نتایج، بیشترین میزان کلروفیل a در زمان کاربرد محرک شیمیایی نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری مشاهده شد که با تیمارهای کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان نداد و در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۲/۴۱، ۱/۷۷ و ۱/۹۵ برابری در میزان کلروفیل a شدند (شکل 1a). بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، هیدروپرایمینگ بذر (افزایش ۱/۶۶ برابری) و پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم (افزایش ۱/۶۷ برابری) بیشترین تأثیر معنی‌دار را در افزایش میزان کلروفیل a در مقایسه با تیمار شاهد داشتند (شکل 1a). پیش‌تیمار بذور با نیترات پتاسیم، موجب نفوذ سریع این محرک شیمیایی به درون جنین بذر می‌گردد و احتمالاً با به تعادل رساندن نسبت هورمونی در بذور و کاهش غلظت مواد بازدارنده رشد مانند آبسیزیک اسید (ABA)، موجب القای جوانه‌زنی و بهبود سرعت جوانه‌زنی در بذور می‌شود (Ghasemi Pirbloti *et al.*, 2007)، از طرفی در محلول‌پاشی برگی نیترات پتاسیم، نیتروژن با شرکت در فعالیت‌های متابولیکی مؤثر بر مراحل رشد رویشی و زایشی و پتاسیم با تحریک توسعه برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ می‌گردد (Nourolahi, Abdali Mashhadi, Koochekzadeh, & Gharineh, 2019) که این موارد می‌توانند از دلایل احتمالی افزایش میزان کلروفیل a در تیمار کاربرد نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری در گاوزبان اروپایی باشد. محققان گزارش کردند در گیاه استویا (*Stevia rebaudiana*) محلول‌پاشی برگی پتاسیم با بهبود فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، موجب افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز شد (Ma & Shi, 2011). از آن‌جایی‌که اسید آسکوربیک یک آنتی‌اکسیدان قوی می‌باشد و در شرایط تنش‌های محیطی از فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تخریب غشای

کلروپلاستی و تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند، احتمالاً استفاده از آن به‌صورت محلول‌پاشی برگی، موجب حفظ محتوای کلروفیلی گیاه شده و به‌طور غیرمستقیم میزان کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد (Yadollahi, Javaheri, & Asgharipour, 2018). افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر محلول‌پاشی بوته‌های مادری ریحان با استفاده از اسید آسکوربیک توسط محققان گزارش شد (Yadollahi *et al*., 2015). محققان افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گلرنگ را در اثر پیش‌تیمار بذور با نیترات پتاسیم و اسید سالیسیلیک گزارش کردند (Ahmadi, Shojaeian, Omidi, Amini Dehaghi, & Azadbakht, 2022).

بیشترین میزان کلروفیل b (افزایش ۲/۱۲ برابری) در زمان استفاده از نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری به‌دست آمد که با تیمار کاربرد نیترات پتاسیم فقط به‌صورت پیش‌تیمار بذر (افزایش ۶۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد) و تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری (افزایش ۶۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد) اختلاف معنی‌دار نشان نداد ولی در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار در میزان کلروفیل b برگ گاوزبان اروپایی شدند (شکل ۱b). افزایش میزان کلروفیل b در تیمار کاربرد نیترات پتاسیم را می‌توان به نقش پتاسیم موجود در آن نسبت داد زیرا پتاسیم باعث افزایش فعالیت فتوسنتز، غلظت کلروفیل و انتقال کربن تثبیت‌شده می‌شود (Szczerba, Britto, & Kronzucker, 2008). بین پیش‌تیمار بذور با تنظیم‌کننده‌های رشد اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک و پیش‌تیمار آبی بذر از نظر میزان کلروفیل b اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش ۲۸، ۱۵ و ۳۲ درصدی در میزان کلروفیل b برگ شدند (شکل ۱b). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی و هورمونی می‌باشد که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد داخلی در دامنه‌ای از فرآیندهای مختلف در گیاهان مانند جوانه‌زنی بذور، افزایش سرعت رشد و استقرار گیاهچه‌ها، تبادل و انتقال یون‌ها، افزایش نفوذپذیری غشاء، فتوسنتز و کنترل سطح کلروفیل نقش دارد و در شرایط تنش محیطی موجب کاهش تنش اکسیداتیو، حفظ پایداری غشاء و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی می‌گردد (Shekari *et al*., 2010) که احتمالاً این عوامل می‌توانند از دلایل افزایش میزان کلروفیل b در زمان استفاده از تیمار اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری در گاوزبان اروپایی باشد. محققان گزارش کردند پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم موجب افزایش میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در برگ مرزه (*Satureja hortensis* L.) شد (Poorreza & Omidi, 2018). نقش تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید سالیسیلیک به‌عنوان هورمون کنترل‌کننده سطح کلروفیل در گیاهان مختلف از جمله اسفرزه (*Plantago ovate*) مشخص شده است (Hatami, Einali, Raissi, & Pir, 2021). بررسی همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد، کلروفیل b، با کلروفیل a، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، تعداد ساقه جانبی، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد دانه و پروتئین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵).

نتایج شکل ۱c نشان داد، کاربرد محرک شیمیایی نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری بیشترین تأثیر را در افزایش میزان کلروفیل کل برگ گاوزبان اروپایی داشت و با تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان نداد و به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد، باعث افزایش ۲/۳۱ و ۱/۸۴ برابری در میزان کلروفیل کل برگ گاوزبان اروپایی شدند. نیتروژن از بخش‌های مهم و جدایی‌ناپذیر کلروفیل می‌باشد، عنصر پرمصرف پتاسیم نیز برای سنتز پروتئین‌ها، افزایش راندمان فتوسنتزی، انتقال مواد در آوند آبکش، ایجاد تعادل بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها و در جلوگیری از تجزیه کلروفیل نقش مهمی دارد، بنابراین با تأمین نیتروژن و پتاسیم کافی به‌صورت محلول‌پاشی برگی نیترات پتاسیم، جذب کودهای محلول از طریق اندام‌های هوایی افزایش یافته و محتوای نیتروژن برگ بهبود می‌یابد و غلظت کلروفیل، میزان فتوسنتز برگ‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش می‌یابد (Zahoor, Zhao, Abid, Dong, & Zhou, 2017). در بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذور، پیش‌تیمار بذر با محرک شیمیایی نیترات پتاسیم، بیشترین تأثیر مثبت را در افزایش میزان کلروفیل کل برگ داشت. بین تیمارهای کاربرد اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک به‌صورت فقط پیش‌تیمار بذر و هیدروپرایمینگ بذر از نظر آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ولی نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش ۴۶، ۳۷ و ۵۵ درصدی در میزان کلروفیل کل برگ گاوزبان اروپایی شدند (شکل ۱c). اسید سالیسیلیک از طریق آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز، عوامل روزنه‌ای، رنگیزه‌ها و ساختار کلروپلاست بر فتوسنتز اثر می‌گذارد. محققان معتقدند اسید سالیسیلیک از فعالیت آنزیم ACC سنتتاز جلوگیری کرده و به‌دنبال آن مانع از به‌وجود آمدن اتیلن شده و از کاهش کلروفیل ممانعت می‌کند و منجر به بالا رفتن کلروفیل و بهبود فتوسنتز می‌شود (Heidari, Alizadeh, & Fazeli, 2019). افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ گاوزبان اروپایی در اثر کاربرد کود کامل شیمیایی (NPK) توسط محققان گزارش شد (Yadollahi & Asgharipour, 2015). محققان گزارش کردند، کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته مادری در ماش (*Vigna radiata* L.) موجب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و افزایش میزان رنگیزهای فتوسنتزی شد (Heidari *et al*., 2019). بررسی نتایج همبستگی بین صفات (جدول ۵) نشان داد، کلروفیل a و کلروفیل کل، با کلروفیل b، کاروتنوئیدها، تعداد دانه در

واحد سطح، عملکرد دانه و پروتئین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد که افزایش عملکرد دانه در نتیجه استفاده از تیمارهای نیترات پتاسیم، اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، ارتباط مستقیمی با افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی داشته باشد.

با توجه به نتایج شکل ۱d، کاربرد نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری بیشترین تأثیر را در افزایش میزان کاروتنوئید برگ گاوزبان اروپایی داشت و با تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان نداد و در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب موجب افزایش ۸۸ و ۴۹ درصدی در میزان کاروتنوئید برگ گاوزبان اروپایی شدند. از اثرات مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک می‌توان به تأثیر مثبت آن بر دستگاه فتوسنتزی، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، افزایش هم‌بستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه اشاره کرد (Popova *et al*., 2009). شکل ۱d نشان داد، بین روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر از نظر میزان کاروتنوئید برگ گاوزبان اروپایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی این تیمارها نسبت به تیمار شاهد تأثیر مثبتی در افزایش میزان کاروتنوئید برگ گاوزبان اروپایی داشتند. احتمالاً گیاهان پیش‌تیمار شده با آب، تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم به‌دلیل سرعت رشد بالا، سریع‌تر در مزرعه استقرار می‌یابند و از منابع محیطی حداکثر بهره را می‌برند و سطح برگ بزرگتری نسبت به گیاهان پیش‌تیمار نشده دارند که افزایش سطح برگ در گیاهان می‌تواند یکی از دلایل افزایش میزان کلروفیل و افزایش میزان فعالیت فتوسنتز در گیاهان باشد (Abbas Dokht, Afshari, Owji, & Taheri, 2016). افزایش در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان در اثر محلول‌پاشی نیترات پتاسیم توسط محققان گزارش شده است (Sanei & Razavi, 2018). کاروتنوئیدها با کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد دانه و پروتئین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد، اثر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

نتایج نشان داد، کاربرد تکنیک‌های پیش‌تیمار بذر و تغذیه برگی بوته‌های مادری با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و محرک شیمیایی نیترات پتاسیم تأثیر مثبتی بر افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II داشت. کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی برگی بوته مادری بالاترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را نشان داد که با تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک فقط به‌صورت پیش‌تیمار بذر و تیمار کاربرد نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با تغذیه برگی بوته مادری اختلاف آماری معنی‌دار نشان نداد و در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب موجب افزایش ۲۰، ۱۳ و ۱۴ درصدی در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II شدند (شکل ۲a).

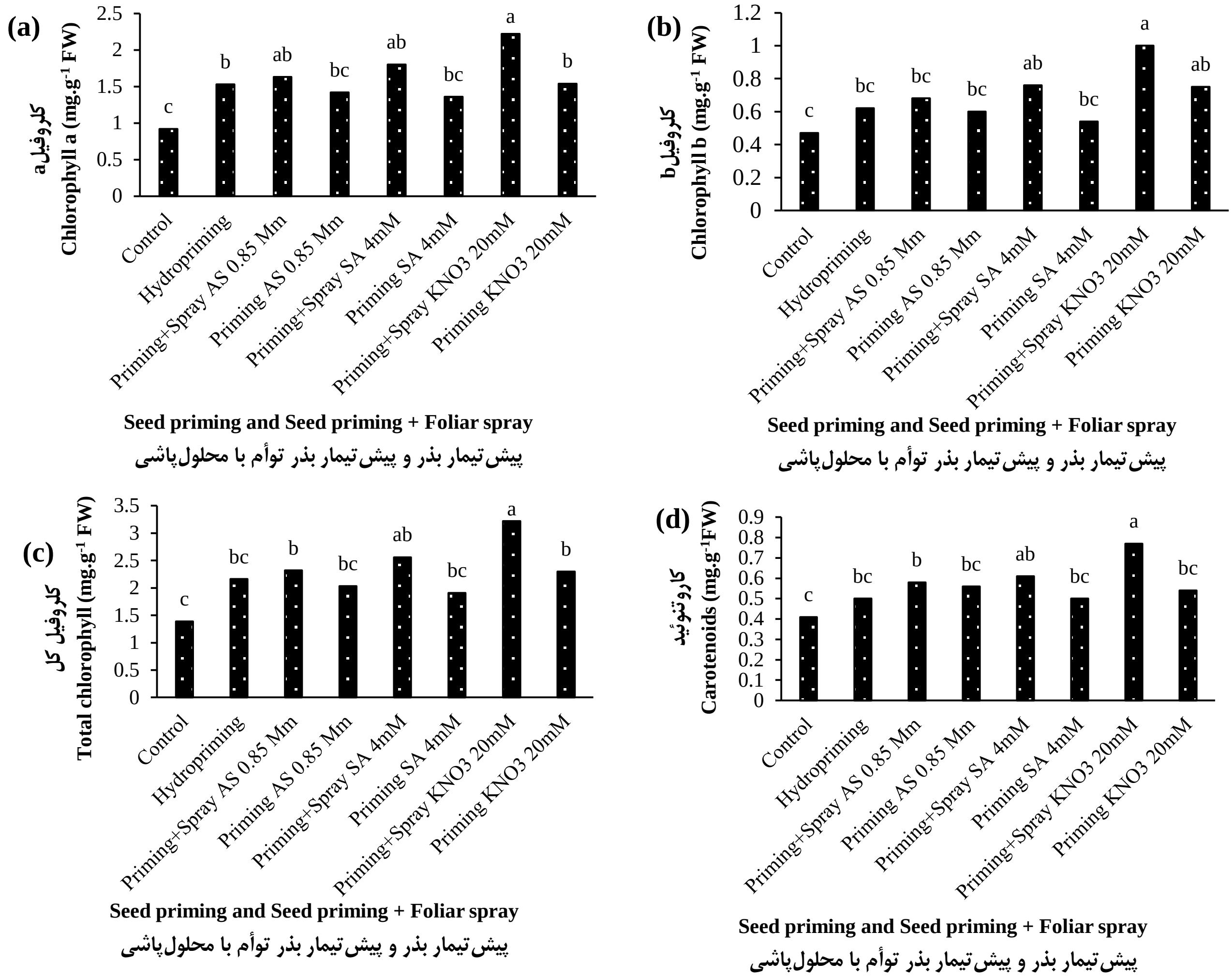
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گاوزبان اروپایی تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته

Table 3- Variance analysis of studied traits of borage affected by seed pretreatment and foliar application of the plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares							
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Fv / Fm II	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه جانبی Lateral per plant	تعداد شاخه‌های گل‌دار Flowering branches per plant
Block بلوک	2	0.032ns	0.0162ns	0.086ns	0.0008ns	0.0013ns	141.9**	34.4**	102.62*
تیمار بذر و بوته مادری Seed and maternal plant treatment	7	0.417**	0.079**	0.840**	0.0330**	0.0046**	119.13**	4.71**	106.51**
Error خطای آزمایشی	14	0.114	0.021	0.226	0.00087	0.0011	15.35	0.70	28.48
C.V (%) ضریب تغییرات	-	21.7	21.3	21.2	16.6	4.3	5.7	17.2	21.1

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively



شکل ۱- تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته گاوزبان اروپایی بر میزان کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب)، کلروفیل کل (ج) و کاروتنوئید (د)

Figure 1- The effect of seed pretreatment and seed pretreatment in combination with foliar application of borage plant on chlorophyll a (a), chlorophyll b (b), total chlorophyll (c) and carotenoids (d)

یکی از دلایل افزایش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در زمان کاربرد اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم احتمالاً مربوط به تأثیر مثبت این ترکیبات بر ساخت کلروفیل می‌باشد، زیرا میزان فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به‌میزان فعالیت کلروفیل در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد. از طرفی این تیمارها با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجب پایداری غشای تیلاکوئیدی در برابر آسیب‌های ناشی از انواع اکسیژن فعال (ROS) به زنجیره انتقال الکترون و کمپلکس پروتئینی و مرکز واکنش فتوسیستم‌ها می‌شوند (Jabbari, Khayyat, Fallahi, & Samadzadeh, 2017). تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک بر بهبود عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در کلزا (*Brassica napus* L.)، (Sajed Gollojeh, Khomari, Shekhzadeh, Sabaghnia, & Mohebodini, 2020) و افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در اثر محلول‌پاشی نیترات پتاسیم و اسید سالیسیلیک در زعفران (Jabbari *et al.*, 2017) و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در کلمو (*Physorrhynchus chamaerapistrum*)، (Fani & Hajihashemi, 2020) گزارش شده است. در بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار بذر گاوزبان اروپایی با اسید سالیسیلیک، بیشترین تأثیر مثبت را در بالا بردن حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نشان داد. بین پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم از نظر این صفت اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد و نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش ۷، ۱۰ و ۱۱ درصدی در عملکرد کوانتومی فتوسیستم II شدند (شکل ۲a). احتمالاً در شرایط پیش‌تیمار بذر و تغذیه بوته مادری با محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات

پتاسیم، به‌دلیل بهبود رشد و توسعه سطح سبز بیشتر گیاه، محتوای کلروفیل و میزان فعالیت‌های فتوسنتزی نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌یابد و انتقال الکترون از کوئینون A احیاء به کوئینون B بهتر انجام می‌شود در نتیجه تجمع کوئینون A کاهش یافته که نتیجه‌ی آن افزایش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد (Fani & Hajihashemi, 2020). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، اثر خود را بر فتوسنتز، از طریق عوامل روزنه‌ای، رنگیزه‌ها، ساختار کلروپلاست و آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز اعمال می‌کند (Heidari *et al.*, 2019). نتایج همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II با کاروتنوئیدها، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته و عملکرد گل همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بنابراین می‌توان بیان کرد که افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II تأثیر مثبت در افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار و در نهایت افزایش عملکرد گل در گاوزبان اروپایی داشته است.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مندرج در جدول ۳ نشان داد، ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت اثر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی نیترات پتاسیم قرار گرفت.

کاربرد تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر و تغذیه برگی بوته‌های گاوزبان اروپایی با محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم موجب افزایش ارتفاع بوته‌های گاوزبان اروپایی شد. با توجه به نتایج (شکل ۲b)، بیشترین ارتفاع بوته گاوزبان اروپایی (۷۵/۲۶ سانتی‌متر) در زمان کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری به‌دست آمد که با تیمارهای کاربرد اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، پیش‌تیمار آبی بذر گاوزبان اروپایی به‌مدت ۴۸ ساعت و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۲b). سالسیلیک اسید همانند اکسین در تنظیم طویل شدن و تقسیم سلولی دخالت دارد و نقشی مؤثری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند رشد، تکامل، فتوسنتز و جوانه‌زنی دارد (Motamedi & Bani Saidi, 2014). احتمالاً در پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک، به‌دلیل فعال شدن سریع جنین در ابتدای رشد و استفاده بیشتر بوته‌های حاصل از عوامل محیطی (Abasi Sadr, Sharafi, & Hassanzadeh Ghorttapeh, 2018) در مقایسه با تیمار شاهد، ارتفاع بوته تحت‌تأثیر این تیمار افزایش یافته است، از طرفی تغذیه بوته‌های مادری از طریق محلول‌پاشی برگی با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم، احتمالاً با تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، موجب بهبود رشد رویشی، افزایش ارتفاع بوته‌ها (شکل ۲b) و برتری گیاهان حاصل شده است. کاربرد اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری و پیش‌تیمار آبی بذر گاوزبان اروپایی به‌ترتیب در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش ۲۹، ۲۱ و ۲۴ درصدی در ارتفاع بوته گاوزبان اروپایی شدند. بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار آبی بذر گاوزبان اروپایی به‌مدت ۴۸ ساعت بیشترین تأثیر مثبت را در افزایش ارتفاع بوته داشت که با پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۲b). پیش‌تیمار آبی، از طریق کاهش زمان جذب آب، موجب بهبود جوانه‌زنی، سبز شدن سریع و مطلوب گیاهچه‌ها در مزرعه و استفاده بهینه و مطلوب آن‌ها از منابع محیطی می‌شود و درنهایت منجر به افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌گردد. محققان گزارش کردند، ارتفاع بوته کرچک (*Ricinus communis* L.) در زمان پیش‌تیمار آبی بذر و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Abasi Sadr *et al.*, 2018). افزایش رشد گیاهچه‌های گاوزبان اروپایی در اثر پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در تحقیقات شکاری و همکاران (Shekari *et al.*, 2010) گزارش شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. اسید آسکوربیک احتمالاً از طریق نقش آنتی‌اکسیدانی، تحریک فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌های گیاهی و تقسیم و بزرگ شدن سلول (Barat Zadeh, Saki Nejad, & Babaei Nejad, 2019) بر افزایش ارتفاع بوته نقش مثبتی داشت. افزایش ارتفاع بوته لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در اثر محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک (AL-Amery & Mohammed, 2017)، ارتفاع کلزا در محلول‌پاشی برگی با اسید سالیسیلیک (Sajed Gollojeh, Khomari, Sheikhzade Mosadegh, Sabaghnia, & Mohebodini, 2021) و افزایش ارتفاع ریحان در محلول‌پاشی با نیترات پتاسیم (Sanei & Razavi, 2018) گزارش شده است. ارتفاع بوته با میزان کلروفیل a، کلروفیل کل، تعداد ساقه جانبی، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد گل، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، پروتئین و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

تعداد ساقه جانبی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) حاکی از تأثیر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته‌های مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم بر تعداد ساقه‌های جانبی گاوزبان اروپایی بود.

پیش‌تیمار بذور گاوزبان اروپایی قبل از کاشت و تغذیه بوته‌های مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی منجر به افزایش

معنی‌دار تعداد ساقه‌های جانبی در مقایسه با تیمار شاهد شدند. بیشترین تعداد ساقه جانبی در زمان کاربرد نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری (۷ ساقه در بوته) به‌دست آمد که با پیش‌تیمار آبی بذر گاوزبان به‌مدت ۴۸ ساعت اختلاف معنی‌دار نشان ندادند و در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب موجب افزایش ۲/۵ و ۲/۱۳ برابری در تعداد ساقه جانبی شدند (شکل ۲c). پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم، با بهبود شاخص‌های سبز شدن (Batool, Ziaf, & Amjad, 2015) و محلول‌پاشی پتاسیم احتمالاً از طریق تولید کربوهیدرات‌ها، ساخت ترکیبات آلی مانند نشاسته و پروتئین‌ها، تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های مختلف، افزایش انتقال قند و مواد مغذی در گیاه و افزایش فشار تورگر در سلول‌های گیاهی (Hegazi, *et al*., 2011) باعث افزایش رشد رویشی، تحریک شاخه‌زایی و در نهایت افزایش تعداد شاخه فرعی در گیاهان می‌شود. محققان گزارش کردند، محلول‌پاشی پتاسیم در فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.)، (El-Bassiony, Fawzy, Samad, & Riad, 2010) و کاربرد کود کامل شیمیایی (NPK) در گاوزبان اروپایی (Yadollahi & Asgharipour, 2015) موجب افزایش تعداد ساقه فرعی شد. پیش‌تیمار آبی بذور از طریق افزایش قدرت جوانه‌زنی بذور منجر به استقرار سریع‌تر گیاهچه‌ها، پوشش سریع‌تر زمین، افزایش رقابت با علف‌های‌هرز و در نهایت ایجاد بوته‌های قوی در مزرعه می‌گردد (Abasi Sadr *et al*., 2018)، که این عوامل باعث افزایش تعداد ساقه فرعی در بوته می‌گردد. بین کاربرد اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری از نظر آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و این تنظیم‌کننده‌های رشد نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۱/۶۶۱ و ۱/۹ برابری در تعداد ساقه‌های جانبی شدند. بین روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار آبی بذر به‌مدت ۴۸ ساعت بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد ساقه جانبی داشت (شکل ۲c). ساجد گلجه و همکاران (Sajed Gollojeh *et al*., 2021) گزارش کردند، بیشترین تعداد ساقه جانبی در کلزا، در بوته‌های حاصل از پیش‌تیمار آبی بذور به‌دست آمد که با پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت. بین پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم و اسید سالیسیلیک از نظر تعداد ساقه جانبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی استفاده از این نهاده‌ها به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۱/۶ و ۱/۵۷ برابری تعداد ساقه جانبی نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۲c). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی گیاهی است که به‌عنوان یک هورمون گیاهی و تنظیم‌کننده رشد شناخته شده و در تنظیم فرآیندهای رشد نقش مؤثری دارد (Khoshbakht, Ramin, & Baghbanha, 2011). محققان گزارش کردند اسید سالیسیلیک به‌دلیل تأثیر در تقسیم و توسعه سلولی و دارا بودن اثرات بهبوددهنده با هورمون‌های رشد، موجب افزایش تعداد ساقه جانبی در کلزا شد (Keshavarz & Modarres Sanavy, 2016). تعداد ساقه جانبی با میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و پروتئین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

تعداد شاخه‌های گل‌دار

مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، مشخص شد تعداد شاخه‌های گل‌دار در سطح احتمال یک درصد تحت اثر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته‌های مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم بودند.

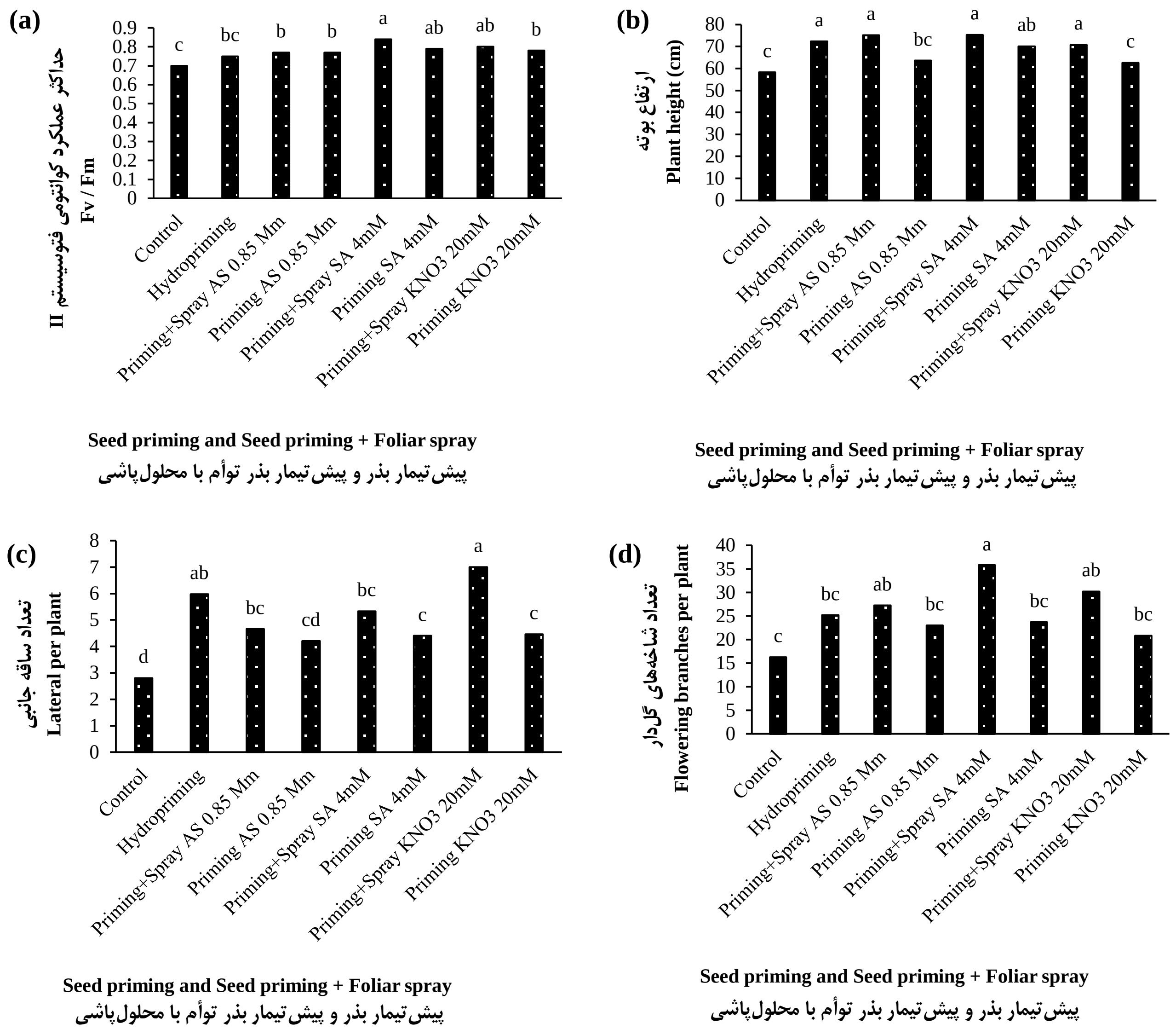
پیش‌تیمار بذور گاوزبان اروپایی و محلول‌پاشی بوته‌های مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی منجر به افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین تعداد شاخه‌های گل‌دار در زمان کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری مشاهده شد که با تیمارهای کاربرد اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان ندادند و به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش ۲/۲، ۱/۶۷ و ۱/۸۵ برابری در تعداد شاخه‌های گل‌دار شدند (شکل ۲d). اسید سالیسیلیک با کمک سایر تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله اکسین، موجب طویل شدن سلول‌ها و تقسیم سلولی شده و گسترش و تقسیم سلولی را افزایش می‌دهد (Abasi Sadr *et al*., 2018) که احتمالاً یکی از دلایل افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار در گاوزبان اروپایی بوده است. افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار در نتیجه پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با اسید سالیسیلیک، اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم را احتمالاً می‌توان به تأثیر مثبت پیش‌تیمار بذر بر افزایش شاخص‌های رشد و سطح برگ و اثر مثبت محلول‌پاشی بر بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه مادری، افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (شکل ۲a) و تعداد ساقه جانبی (شکل ۲c)، در مقایسه با تیمار شاهد نسبت داد. افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در مطالعات اسکندری‌زنجانی و همکاران (Eskandari Zanjani, Shirani Rad, Moradi Agdam, & Taherkhani, 2013) در درمنه (*Artemisia annua* L.) و تقی‌زاده طبری و همکاران (Taghizadeh Tabari, Asghari, Abbasdokht, & Babakhanzadeh, 2021) در گاوزبان اروپایی گزارش شده است. بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار آبی بذر گاوزبان اروپایی در مقایسه با پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک، اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم تأثیر مثبت بیشتری در افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار داشت ولی تفاوت بین آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲d). پیش‌تیمار بذور قبل از کاشت، احتمالاً موجب افزایش شاخص‌های رشد، سطح برگ، میزان فتوسنتز و در نهایت افزایش تخصیص مواد

فتوسنتزی به آغازه‌های رویشی شاخه‌ها شده و تعداد شاخه‌های گل‌دار و رشد بوته‌ها افزایش یافته است. محققان گزارش کردند، پیش‌تیمار بذور با نیترات پتاسیم، اسید سالیسیلیک و به‌ویژه پیش‌تیمار آبی موجب افزایش ارتفاع و تعداد شاخه‌های گل‌دار در ریحان شد (Rostami, Moghaddam, Narimani, & Mehdizadeh, 2018)، که این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار در اثر کاربرد اسید آسکوربیک در گلرنگ توسط محتشمی و تدین (Mohtashami & Tadayon, 2020) و کود شیمیایی (NPK) در مرزه، توسط آروین (Arvin, 2019) گزارش شده است. نتایج همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد که تعداد شاخه‌های گل‌دار با حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد گل، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته است.

تعداد میوه در بوته

تعداد میوه در بوته در سطح احتمال یک درصد تحت اثر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته‌های مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد اسید سالیسیلیک، اسید آسکوربیک و محرک شیمیایی نیترات پتاسیم قرار گرفت (جدول ۴).

تغذیه بذر و بوته مادری گاوزبان اروپایی به‌صورت پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی برگی بوته‌های مادری، موجب افزایش تعداد میوه در بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری بیشترین تعداد میوه در بوته را نشان داد که با کاربرد اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان نداد و نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش معنی‌دار (به‌ترتیب ۲/۶۲، ۱/۹۸ و ۱/۹۴ برابری) در تعداد میوه در بوته شد که این افزایش بیانگر نوعی همبستگی مثبت (جدول ۵) بین صفات تعداد شاخه‌های گل‌دار (شکل ۲d) و تعداد میوه در بوته (شکل ۳a) در این تیمارها می‌باشد. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک شبه‌هورمون فنولیک، تنظیمات درونی گیاه را برعهده دارد و به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی، نقش مهمی در تنظیم و کنترل فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، ممانعت از بیوسنتز اتیلن، سنتز کلروفیل و پروتئین و جذب و انتقال عناصر بر عهده دارد (Khoshbakht *et al*., 2011) که احتمالاً همه این عوامل در افزایش رشد رویشی (شکل ۲b)، رشد زایشی (شکل ۲d) و در نهایت افزایش عملکرد نهایی (شکل ۴) گاوزبان اروپایی در این تیمار مؤثر بوده است. در بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد میوه در بوته داشت که در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش ۸۰ درصدی در تعداد میوه در بوته شد. کاربرد نیترات پتاسیم فقط به‌صورت پیش‌تیمار بذر، از نظر تعداد میوه در بوته با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۳a)، احتمالاً در تیمار کاربرد نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، پیش‌تیمار بذر با القای جوانه‌زنی و شروع رویش جنین بذر (Tavili, Safari, & Saberi, 2009) و محلول‌پاشی بوته مادری با تأمین نیتروژن و پتاسیم مورد نیاز گیاه، افزایش جذب کودهای محلول از طریق اندام‌های هوایی، افزایش محتوای نیتروژن برگ (Zahoor *et al*., 2017)، بهبود رشد رویشی (افزایش ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های جانبی، شکل ۲b و ۲c) و بهبود رشد زایشی (افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار و عملکرد گل، شکل ۲d و ۳c)، منجر به افزایش تعداد میوه در بوته در این تیمار، در مقایسه با تیمار شاهد و تیمار کاربرد نیترات پتاسیم فقط به‌صورت پیش‌تیمار بذر شد. محققان گزارش کردند کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) شد (Mousavi Ouri *et al*., 2021). اسید آسکوربیک احتمالاً از طریق کاهش اثرات تنش‌های محیطی، حفاظت از برخی آنزیم‌های مهم و تقسیم و بزرگ شدن سلول، نقش مؤثری در افزایش تعداد میوه در بوته (شکل ۳a) داشت که موجب بهبود عملکرد دانه (شکل ۴) شد. برات‌زاده و همکاران (Barat Zadeh *et al*., 2019) گزارش کردند، کاربرد نانو کلات پتاسیم و اسید آسکوربیک نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی موجب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) شد. محققان گزارش کردند کاربرد پتاسیم به‌صورت محلول‌پاشی برگی در گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تأثیر مثبت بیشتری در افزایش تعداد کپسول در بوته داشت (Mahdavi, Masoud Sinaki, Amini dehaghi, Rezvan, & Damavandi, 2018). عباسی‌صدر و همکاران (Abasi Sadr *et al*., 2018) گزارش کردند، پیش‌تیمار آبی و به‌ویژه پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک موجب بهبود خصوصیات رویشی، زایشی و افزایش تعداد کپسول در بوته کتان (*Ricinus communis* L.) شد که با نتایج تحقیقات این پژوهش هم‌خوانی داشت. تعداد میوه در بوته با حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد گل، عملکرد دانه، پروتئین و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). در این مطالعه به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (شکل ۲a) در نتیجه کاربرد اسید سالیسیلیک، اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، تأثیر مثبتی بر افزایش تعداد میوه در بوته (شکل ۳a)، تعداد دانه در واحد سطح (شکل ۳b) داشت که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه (شکل ۴) در گاوزبان اروپایی شد.



شکل ۲- تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته گاوزبان اروپایی بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (الف)، ارتفاع بوته (ب)، تعداد ساقه جانبی (ج) و تعداد شاخه‌های گل‌دار (د)

Figure 2- The effect of seed pretreatment and seed pretreatment in combination with foliar application of borage plant on Fv/Fm (a), plant height (b), lateral per plant (c), and flowering branches plant (d)

تعداد دانه در واحد سطح

تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در واحد سطح معنی‌دار بود (جدول ۴).

پیش‌تیمار بذور گاوزبان اروپایی با آب مقطر، اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم، همچنین پیش‌تیمار بذور توأم با محلول‌پاشی برگی تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم موجب افزایش تعداد دانه در واحد سطح شد. بیشترین تعداد دانه در واحد سطح در تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی برگی بوته مادری به‌دست آمد که موجب افزایش ۳/۲ برابری در تعداد دانه در واحد سطح نسبت به تیمار شاهد شد و با تیمار کاربرد اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان نداد. کاربرد اسید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری موجب افزایش معنی‌دار ۲/۴ برابری تعداد دانه در واحد سطح نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۳b). افزایش تعداد دانه در واحد سطح

(شکل ۳b) در نتیجه کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری را می‌توان، به افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار (شکل ۲d) و تعداد میوه در بوته (شکل ۳a) در این تیمار نسبت داد که با نتایج تحقیقات ساجد گلجه و همکاران (Sajed Gollojeh *et al.*, 2021) در کلزا مطابقت داشت. محتشمی و همکاران (Mohtashami, Pouryousef, Andalibi, & Shekari, 2015) گزارش کردند، تعداد دانه در چتر و چترک رازیانه طی پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش یافت.

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گاوزبان اروپایی تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته

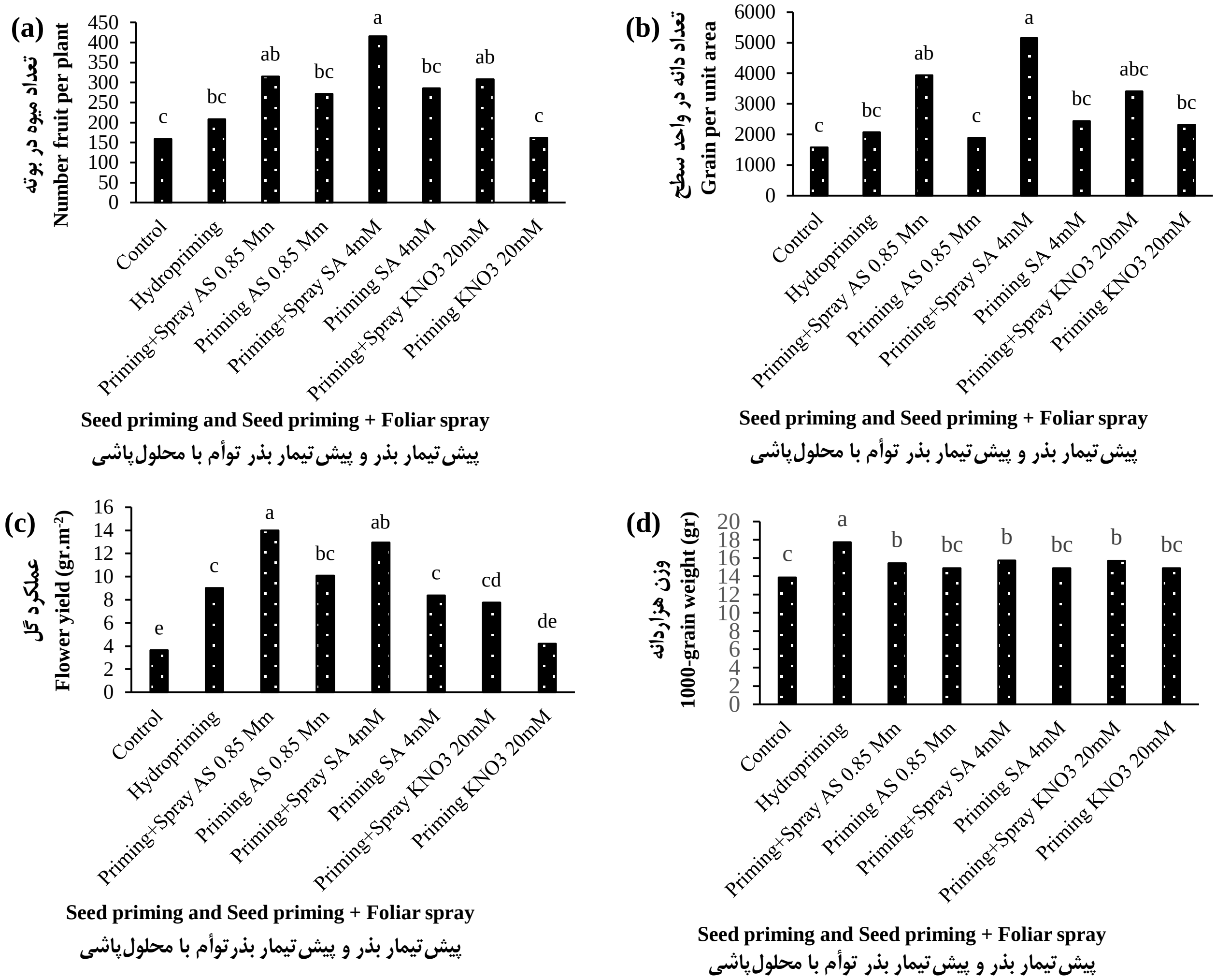
Table 4- Variance analysis of studied traits of borage affected by seed pretreatment and foliar application of the plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares						
		تعداد میوه در بوته Number of fruit per plant	تعداد دانه در واحد سطح Grains per unit area	عملکرد گل Flower yield	وزن هزار- دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield	پروتئین Protein	پرولین Proline
Block بلوک	2	20472.16*	165.84ns	0.667ns	0.884ns	3.11ns	0.034**	208.54ns
تیمار بذر و بوته مادری Seed and maternal plant treatment	7	22619.17**	347.40**	40.68**	3.72**	5.60**	0.027**	2194.20**
Error خطای آزمایشی	14	5521.9	92.70	4.26	0.51	1.16	0.006	77.34
C.V ضریب تغییرات (%)	-	28.0	18.6	23.6	4.7	16.8	25.1	10.0

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively

احتمالاً استفاده از اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، از طریق افزایش تقسیم و تمایز سلولی، افزایش سرعت سبز شدن (Bahram Nejad & Saffari, 2014)، افزایش فتوسنتز در برگ‌ها، تأثیر بر مریستم‌های زایشی، تنظیم فرآیند گلدهی، افزایش ارسال مواد پرورده بیشتر از برگ به دانه، کاهش ریزش گل (Mohtashami *et al*., 2015)، موجب افزایش تعداد دانه در واحد سطح (شکل ۳b) و در نهایت افزایش عملکرد دانه (شکل ۴) در گاوزبان اروپایی شد. افزایش تعداد دانه در کپسول سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، (Rezaei Chiyaneh & Pirzad, 2014)، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف باقلا (*Vicia faba*)، (Khan, Shabian, Masood, Nazar, & Iqbal, 2010) در کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شده است. بین روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسلیک بیشترین تأثیر مثبت را در افزایش تعداد دانه در واحد سطح داشت. کمترین تعداد دانه در واحد سطح در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳b). اسید آسکوربیک به عنوان یک سیگنال فیتوهورمونی در انتقال گیاه از مرحله رویشی به زایشی نقش مؤثری دارد و با بیوسنتز و احیای بسیاری از هورمون‌ها موجب افزایش تقسیم و گسترش سلولی شده که موجب افزایش تعداد شاخه گل‌دار در بوته (شکل ۲d) تعداد میوه در بوته (شکل ۳a) و نیز تعداد دانه در واحد سطح (شکل ۳b) و در نهایت افزایش عملکرد دانه (شکل ۴) می‌گردد، این نتایج با نتایج تحقیقات نقی‌زاده و همکاران (Naghizadeh, Kabiri, & Maghsoud, 2022) در گیاه اسفرزه، وطن‌خواه و همکاران (Vatankhah, Kalantari, & Andalibi, 2016) در نعناع‌فلفلی (*Mentha piperita* L.) هم‌خوانی داشت. افزایش تعداد دانه در اثر محلول‌پاشی پتاسیم را می‌توان با توجه به نقش پتاسیم در حفظ فتوسنتز، تولید مواد فتوسنتزی، افزایش تولید کربوهیدرات و انتقال سریع آن‌ها به دانه توجیه کرد (Barat Zadeh *et al*., 2019). محققان گزارش کردند کاربرد پتاسیم موجب افزایش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول کنجد شد (Mizani, Sinaki, Rezvan, Abedini Esfahlani, & Damavandi, 2022). تعداد دانه در واحد سطح با کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته، عملکرد گل، عملکرد دانه، پروتئین و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). در این مطالعه به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در نتیجه کاربرد اسید سالیسیلیک، اسید آسکوربیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، ارتباط مستقیمی با افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین و پرولین برگ گاوزبان اروپایی داشته است.



شکل ۳- تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته گاوزبان اروپایی بر تعداد میوه در بوته (الف)، تعداد دانه در واحد سطح (ب)، عملکرد گل (ج) و وزن هزاردانه (د)

Figure 3- The effect of seed pretreatment and seed pretreatment in combination with foliar application of borage plant on the number of fruit per plant (a), grain per unit area (b), flower yield (c), and weight of 1000 grain (d)

عملکرد گل

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد، اثر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد گل معنی‌دار بود.

استفاده از تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی موجب افزایش عملکرد گل در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین عملکرد گل (۱۴ گرم در مترمربع) در تیمار کاربرد اسید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری مشاهده شد که با تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری اختلاف معنی‌دار نشان نداد و در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب موجب افزایش ۳/۸ و ۳/۵ برابری در عملکرد گل شدند (شکل ۳c). احتمالاً پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با اسید آسکوربیک، از طریق تقسیم و بزرگ شدن سلول، توسعه دیواره سلولی، تنظیم انتقال الکترون فتوسنتزی، نقش‌های آنتی‌اکسیدانی، تحریک فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌های گیاهی (Barat Zadeh *et al.*, 2019) منجر به افزایش عملکرد گل در گاوزبان اروپایی شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر مثبت بر فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی، تلقیح گل‌ها، کاهش ریزش و سقط گل‌ها موجب افزایش عملکرد گل شده و با افزایش دوره پر شدن دانه‌ها موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Mohtashami *et al.*, 2015). محققان گزارش کردند کاربرد اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک با

افزایش تعداد برگ و بهبود فرآیند فتوسنتز موجب افزایش وزن تر و خشک گل کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در مترمربع شد (Hosseini, Jalilian, & Gholinezhad, 2021). بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار بذر با اسید آسکوربیک بیشترین تأثیر مثبت (افزایش ۲/۷ برابری در مقایسه با تیمار شاهد) را در افزایش عملکرد گل داشت و با پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۳c). شکاری و همکاران (Shekari *et al*., 2010) پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک را ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش برای افزایش عملکرد گل در گیاه گاوزبان اروپایی معرفی کردند. پتاسیم موجب افزایش رشد ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود. همچنین با کاهش تنفس از کاهش انرژی جلوگیری کرده به انتقال قند و نشاسته کمک می‌کند و با تحریک توسعه برگ و ظرفیت فتوسنتزی و جلوگیری از تجزیه کلروفیل گیاه را جهت گلدهی آماده می‌کند و نیتروژن با شرکت در فعالیت‌های متابولیک مؤثر بر مراحل رشد رویشی و زایشی بر عملکرد گل تأثیر می‌گذارد (Rabani Foroutagheh, Hamidoghli, & Mohajeri, 2014). محققان گزارش کردند کاربرد برگی کود کامل شیمیایی (NPK) با افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و سرشاخه‌های گل‌دار، موجب افزایش تعداد و عملکرد گل در گاوزبان اروپایی شد (Yadollahi & Asgharipour, 2015). تأثیر مثبت محلول‌پاشی برگی نیترات پتاسیم بر تعداد گل و وزن تر و خشک گل زعفران، (Tabatabaeian *et al*., 2020) و گل همیشه‌بهار، (Nourolahi *et al*., 2019) گزارش شده است. عملکرد گل با حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد دانه، پروتئین و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵).

وزن هزاردانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۴)، وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد تحت اثر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و محرک شیمیایی نیترات پتاسیم قرار گرفت.

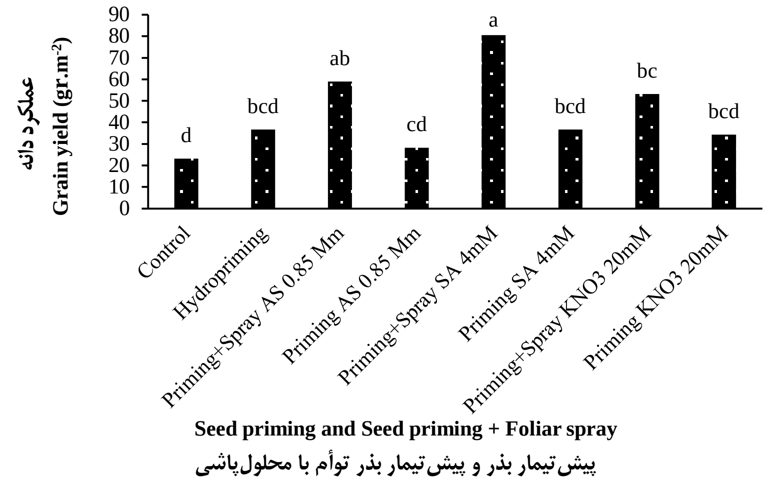
پیش‌تیمار آبی بذور و پیش‌تیمار بذور با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی همچنین پیش‌تیمار بذور توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم، موجب افزایش وزن هزاردانه گاوزبان اروپایی شد. بیشترین وزن هزاردانه (۱۷/۷۱ گرم) در تیمار پیش‌تیمار آبی بذور به‌دست آمد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد و در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش ۲۸ درصدی در وزن هزاردانه شد. بین کاربرد اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی، از نظر وزن هزاردانه اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد ولی در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار (به‌ترتیب ۱۱/۲، ۱۳/۲ و ۱۳ درصدی) در وزن هزاردانه شدند. پیش‌تیمار آبی بذر با تولید گیاهچه‌های قوی، موجب افزایش جذب مواد غذایی از خاک و منابع محیطی می‌شود و با افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه و افزایش انتقال این مواد به دانه و تجمع مواد غذایی در دانه‌ها موجب افزایش وزن هزاردانه می‌گردد (Abbas Dokht & Arefbeyki, 2015). افزایش وزن دانه ناشی از افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه می‌باشد که در این مورد قدرت بذر نقش مهمی دارد (Mohtashami *et al*., 2015) و احتمالاً پیش‌تیمار بذر گاوزبان اروپایی، به‌ویژه پیش‌تیمار آبی با افزایش موارد ذکرشده، موجب افزایش وزن هزاردانه شده است (شکل ۳d). افزایش وزن هزاردانه در اثر پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در رازیانه توسط محتشمی و همکاران (Mohtashami *et al*., 2015) و در کرچک توسط عباسی صدر و همکاران (Abasi Sadr *et al*., 2018) گزارش شده است. محلول‌پاشی برگی اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک با افزایش سطح برگ، افزایش تولید مواد فتوسنتزی و افزایش انتقال این مواد به دانه در طول دوره پر شدن دانه موجب افزایش وزن هزاردانه کلزا شد (Kalantarahmadi & Shoushi Dezfouli1, 2020). نیتروژن احتمالاً با افزایش تجمع مواد خشک دانه و پتاسیم نیز احتمالاً با افزایش تقسیم و رشد سلولی، افزایش در فرآیند فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، باعث پر شدن دانه شده (Barat Zadeh *et al*., 2019) و موجب افزایش وزن هزاردانه گاوزبان اروپایی شد (شکل ۳d). افزایش وزن هزاردانه در اثر کاربرد نیترات پتاسیم در زیره سبز توسط دژام و همکاران (Dejam, Rajaie, Johari, & Tahmasebi, 2020)، کاربرد اسید سالیسیلیک در ماریتیغال توسط موسوی عوری (Mousavi Ouri *et al*., 2021) و کاربرد اسید آسکوربیک در لوبیا چشم‌بلبلی توسط براتزاده و همکاران (Barat Zadeh *et al*., 2019) گزارش شده است. نتایج همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد، وزن هزاردانه با ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، تعداد شاخه‌های گل‌دار و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت.

عملکرد دانه

تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه گاوزبان اروپایی معنی‌دار بود (جدول ۴).

استفاده از تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر (پیش‌تیمار آبی، پیش‌تیمار هورمونی، پیش‌تیمار بذر با ویتامین و نمک غیرآلی) و تغذیه

بوته مادری به‌صورت محلول‌پاشی برگی بـا اسـید آسـکوربیک، اسـید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد باعـث افـزایش عملکرد دانه گاوزبان اروپایی شد. بیشترین عملکرد دانه (۸۰/۵ گرم در مترمربع) در تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صـورت پـیش‌تیمـار بـذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری به‌دست آمد که با تیمار کـاربرد اسـید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نشان نداد و در مقایسـه بـا تیمـار شـاهد به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۳/۴ و ۲/۵ برابـری در عملکـرد دانـه شـدند (شـکل ۴). افـزایش عملکـرد دانـه در نتیجـه کـاربرد اسـید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری را می‌توان، به افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دار (شکل ۲d) و تعـداد میـوه در بوته (شکل ۳a) و تعداد دانه در واحـد سـطح (شـکل ۳b) در ایـن تیمـار نسـبت داد. افـزایش عملکـرد دانـه در نتیجـه کـاربرد اسـید سالیسیلیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری را می‌توان، به نقش مثبت و مؤثر اسید سالیسیلیک بر بهبود جوانـه‌زنـی، کنترل تنفس، بسته شدن روزنه‌ها در شرایط نامساعد محیطی، فرآینـد گلیکولیز، گلدهی، رسـیدگی میـوه، محتـوای پـروتئین‌هـای محلـول، پرولین آزاد و میزان هورمون‌های گیاهی (Ghilavizadeh, Hadidi Msouleh, Zakerin, & Valadabadi, 2021)، نسـبت داد کـه منجر به بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه در گاوزبـان اروپـایی شـده است. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک همچنین از طریق افزایش تـراکم کلروفیل در واحد سطح برگ، حفظ منبع فتوسنتزکننده در طـول دوره رشدی، تلقیح گل‌ها، جلوگیری از سقط شدید گل‌هـا، افـزایش انتقـال مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه و افزایش دوره پر شدن دانـه‌هـا موجـب بهبود اجزای عملکرد دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانـه مـی‌شـود (Rezaei Chiyaneh & Pirzad, 2014)، که این عوامل مـی‌تواننـد از دلایل احتمالی دیگر در افزایش عملکرد دانه در تیمار کـاربرد اسـید سالیسـیلیک در گاوزبـان اروپـایی باشـد. افـزایش عملکـرد دانـه در سـیاهدانه، (Azadvari, Naeemi, Gholizadeh, & Nakhzari Moghaddam, 2020) و رازیانه، (Mohtashami *et al.*, 2015) در اثر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوتـه مـادری بـا اسـید سالیسـیلیک گزارش شـده اسـت. افـزایش عملکـرد دانـه در تیمـار کـاربرد اسـید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری را احتمالاً می‌توان به تجمع اسیدآمینه پرولین (شکل ۵b) بیشتر در ایـن تیمار نسبت داد، زیرا اسید آسـکوربیک بـا افـزایش تجمـع اسـیدآمینه پرولین موجب حفاظت از اندام‌ها و سلول‌های گیاهی از اثرات مخـرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در طول دوره رشد گیاه می‌گردد که نتیجـه آن می‌تواند بهبود رشد و افزایش عملکـرد دانـه در گاوزبـان اروپـایی باشد. محققان گـزارش کردنـد اسـتفاده از اسـید آسـکوربیک و اسـید سالیسیلیک به‌صورت پـیش‌تیمـار بـذر و محلـول‌پاشـی بوتـه مـادری گلرنگ، با افزایش مقدار کلروفیل و بهبود رشد گیاه، نقـش مهمـی در افزایش عملکرد دانه داشتند (Heydari *et al.*, 2023)، که بـا نتـایج پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت. نقی‌زاده و همکاران (Naghizadeh *et al.*, 2022)، در بررسی تأثیر محلـول‌پاشـی اسـید آسـکوربیک بـر عملکرد دانه اسفرزه گزارش کردند، اسید آسکوربیک به‌دلیـل خـواص آنتی‌اکسیدانی، موجب بهبود فتوسنتز و افزایش انتقال مواد فتوسـنتزی به دانه و افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه می‌شود، در نتیجه وزن و عملکرد دانه افزایش می‌یابد. کاربرد نیترات پتاسیم بـه‌صـورت پیش‌تیمار بذر توأم بـا محلـول‌پاشـی بوتـه مـادری، موجـب افـزایش معنی‌دار ۲/۲ برابری در عملکرد دانه در مقایسه بـا تیمـار شـاهد شـد (شکل ۴). احتمالاً افـزایش عملکـرد دانـه در نتیجـه کـاربرد نیتـرات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم بـا محلـول‌پاشـی بوتـه مـادری، می‌تواند با افزایش میزان رنگیزه‌هـای فتوسـنتزی (شـکل ۱) در ایـن تیمار مرتبط باشد که موجب بهبود رشد رویشـی (شـکل ۲b,c)، رشـد زایشی (شکل ۲d و ۳a) و در نهایت افزایش عملکرد دانـه (شـکل ۴) گردید. پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم از طریـق بهبـود جوانـه‌زنـی و استقرار گیاهچه در مزرعه، موجب افزایش دوام و شاخص سطح بـرگ می‌گردد و از طریق افزایش میزان تشعشع دریافتی توسـط کـانوپی در طول فصل رشد، موجب تولید و حفظ تعداد گل‌های بیشتر و افـزایش تعداد میوه در گیاه و در نهایت موجب بالا رفتن عملکرد گیاه می‌شـود (Hatami, 2014). گزارش‌های متعددی در رابطه با افزایش عملکـرد و اجزای عملکرد دانه در اثر پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم در کلـزا و ترخـــون (*Artemisia dracunculus* L.)، (Hernandez, Hernandez, & Heydrich, 1995; Hatami, 2014) و پیش‌تیمار بذر با اسید آسکوربیک و اسید سالیسـیلیک در رازیانـه (Shabbir *et al.*, 2013) و پـیش‌تیمـار آبـی در کرچـک (Abasi Sadr *et al.*, 2018) ارائه شده است. نتایج همبستگی صفات (جدول ۵) نشـان داد، عملکرد دانه با میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، ارتفاع بوته، تعـداد سـاقه جانبی، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحـد سطح، عملکـرد گـل، پـروتئین و پـرولین بـرگ همبسـتگی مثبـت و معنی‌دار داشت.



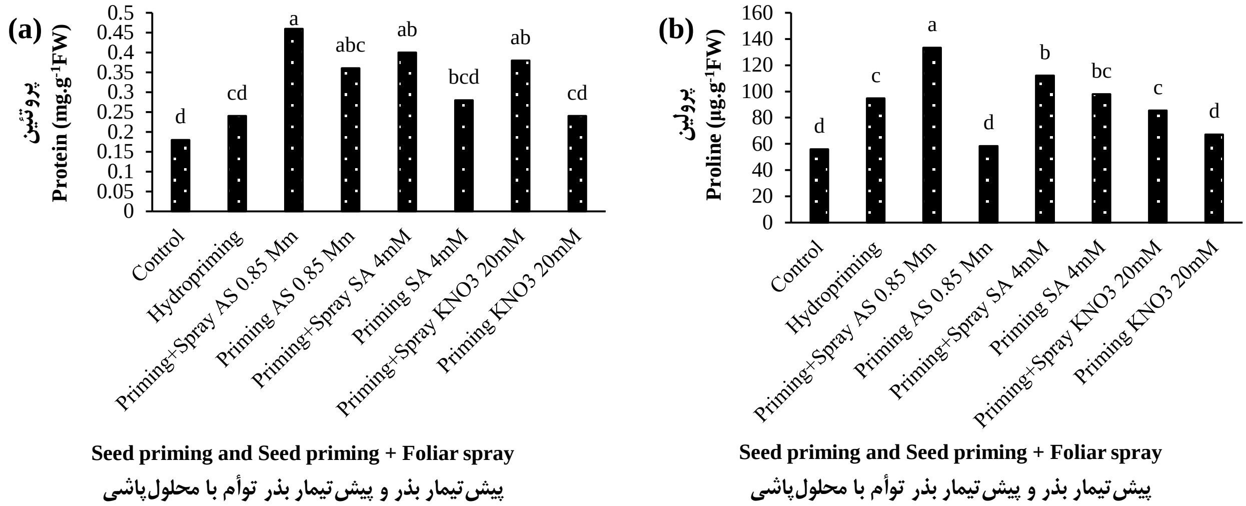
شکل ٤- تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته گاوزبان اروپایی بر عملکرد دانه
Figure 4- The effect of seed pretreatment and seed pretreatment in combination with foliar application of borage plant on grain yield

پروتئین محلول برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد، مقدار پروتئین کل برگ گاوزبان اروپایی در سطح احتمال یک درصد تحت اثر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم قرار گرفت.

پیش‌تیمار آبی و کاربرد اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته‌های مادری باعث افزایش میزان پروتئین کل برگ در مقایسه با تیمار شاهد شدند. بیشترین میزان پروتئین کل برگ (۰/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار کاربرد اسید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری به‌دست آمد که با تیمارهای کاربرد اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری و کاربرد اسید آسکوربیک فقط به‌صورت پیش‌تیمار بذر اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۵a). احتمالاً اسید آسکوربیک از طریق نقش‌های آنتی‌اکسیدانی، با پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن به‌طور غیرمستقیم از اکسید شدن و آسیب به ساختارهای اسیدهای چرب و پروتئین‌ها جلوگیری کرده و موجب افزایش محتوای پروتئین برگ می‌شود و اثرات مخرب تنش‌های محیطی را در طول دوره‌ی رشد گیاه کاهش می‌دهد. دانشمند (Daneshmand, 2013) گزارش کرد، استفاده از اسیدآسکوربیک در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) موجب افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئین برگ شد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت. تیمارهای کاربرد اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۲/۵، ۲/۲ و ۲/۱ برابری در میزان پروتئین کل برگ شدند (شکل ۵a). احتمالاً محلول‌پاشی نیترات پتاسیم، با تأمین نیتروژن و پتاسیم مورد نیاز گیاه، موجب افزایش میزان پروتئین برگ گاوزبان اروپایی شد زیرا نیتروژن به‌عنوان عنصر اصلی تشکیل‌دهنده ساختمان پروتئین‌ها، اسید نوکلئیک‌ها، کوآنزیم‌ها و مولکول کلروفیل می‌باشد و پتاسیم نیز با فعال کردن آنزیم‌های مسیر بیوسنتز پروتئین‌ها، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌ها و تحریکات هورمونی شده و فرآیند پروتئین‌سازی را در گیاه افزایش می‌دهد (Arvin, 2019). درویژه و همکاران (Darvizheh, Zahedi, Abaszadeh, & Razmjoo, 2019) گزارش کردند، اسید سالیسیلیک، با تعدیل اثرات تنش‌های محیطی در طول دوره رشد گیاه و افزایش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز و جلوگیری از غیرفعال شدن آن، باعث افزایش سنتز پروتئین در سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) شد. آروین (Arvin, 2019) گزارش کرد، محلول‌پاشی گیاه دارویی مرزه با کود کامل (NPK) موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین برگ شد. بوته‌های حاصل از پیش-تیمار بذر با اسید آسکوربیک در مقایسه با سایر تکنیک‌های پیش‌تیمار بذر، بیشترین میزان پروتئین برگ را نشان دادند و در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار ۲ برابری در میزان پروتئین کل برگ گاوزبان اروپایی شدند (شکل ۵a). پیش‌تیمار بذور گاوزبان اروپایی با استفاده از آب و اسید سالیسیلیک (Mahmoudi *et al.*, 2019)، پیش‌تیمار بذور گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از اسید آسکوربیک (Hafez & Gharib, 2016) و پیش‌تیمار گیاه دارویی سیاهدانه، با استفاده از نیترات پتاسیم (Ahmadpour Dehkordi &

(Balouchi, 2013) موجب افزایش میزان پروتئین محلول برگ شد. پروتئین محلول برگ با رنگیزه‌های فتوسنتزی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد گل، عملکرد دانه و پرولین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).



شکل ۵- تأثیر پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته گاوزبان اروپایی بر میزان پروتئین (الف) و اسیدآمینه پرولین (ب)

Figure 5- The effect of seed pretreatment and seed pretreatment in combination with foliar application of borage plant on protein (a) and proline (b)

اسیدآمینه پرولین

مقدار اسیدآمینه پرولین در سطح احتمال یک درصد تحت اثر معنی‌دار تیمارهای پیش‌تیمار بذر و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی قرار گرفت (جدول ۴).

استفاده از تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر به‌ویژه پیش‌تیمار آبی و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار در مقدار اسیدآمینه پرولین برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. باتوجه به نتایج (شکل 5b) می‌توان بیان کرد، پیش‌تیمار بذور و محلول‌پاشی بوته مادری موجب افزایش مقدار اسیدآمینه پرولین برگ شد. بیشترین مقدار اسیدآمینه پرولین (۱۳۳/۳۷ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار کاربرد اسید آسکوربیک به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری مشاهده شد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد و در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار ۲/۳ برابری در میزان اسیدآمینه پرولین برگ شد. محلول‌پاشی اسید آسکوربیک موجب افزایش جذب آن از طریق روزنه‌ها شده و غلظت داخلی آن در گیاه افزایش می‌یابد و با توجه به نقش آن به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی، باعث افزایش تجمع اسیدآمینه پرولین در گیاه شده و موجب حفاظت از اندام‌ها و سلول‌های گیاهی از اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در طول دوره رشد گیاه می‌شود (Rajabi Dehnavi & Zahedi, 2020)، که این اثر مثبت می‌تواند با بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه در گاوزبان اروپایی همراه باشد (شکل ۴). همسو با نتایج این پژوهش، محققان گزارش کردند کاربرد برگی اسید آسکوربیک موجب افزایش محتوای پرولین برگ، تعداد شاخه‌های گل‌دهنده و عملکرد بوته سرخارگل شد (Farahvash, Mirshekari, Farzaniyan, & Hoseainzadeh Moghbeli, 2015). اسید آسکوربیک همچنین از طریق افزایش شاخص سطح برگ، بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش تجمع اسیدآمینه پرولین و کاهش هیدروژن پراکسید، موجب تعدیل اثرات منفی تنش‌های محیطی در طول دوره رشد گیاهان می‌شود (Azzedine, Gherroucha, & Baka, 2011). تیمارهای کاربرد اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۲ و ۱/۵ برابری در مقدار اسیدآمینه پرولین برگ شدند (شکل 5b). افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین برگ گلرنگ در تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم توسط محققان گزارش شد (Ahmadi *et al*., 2022) که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. بین تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر مثبت معنی‌دار را در افزایش میزان پرولین برگ داشت و با تیمار پیش‌تیمار آبی بذر از نظر میزان این صفت اختلاف آماری معنی‌دار نشان نداد. کمترین مقدار اسیدآمینه پرولین (۵۶/۰۲ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد مشاهده شد که البته از این نظر بین تیمار شاهد و پیش‌تیمار بذر با اسید

آسکوربیک و نیترات پتاسیم (بدون محلول‌پاشی) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵b). محمودی و همکاران (Mahmoudi *et al.*, 2019) گزارش کردند، پیش‌تیمار بذور با استفاده از آب و اسید سالیسیلیک در مقایسه با تیمار شاهد (بدون پیش‌تیمار بذر) موجب افزایش محتوای پرولین برگ شد. پرولین برگ با ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های گل‌دار، تعداد میوه در بوته، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد گل، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و پروتئین برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات اندازه‌گیری‌شده

Table 5- Correlation coefficients of measured traits

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1														
2	0.93^{**}	1													
3	0.99^{**}	0.96^{**}	1												
4	0.93^{**}	0.89^{**}	0.93^{**}	1											
5	0.37^{ns}	0.30^{ns}	0.36^{ns}	0.40^{*}	1										
6	0.49^{**}	0.38^{ns}	0.47^{*}	0.32^{ns}	0.22^{ns}	1									
7	0.46^{*}	0.44^{*}	0.46^{*}	0.31^{ns}	0.12^{ns}	0.67^{**}	1								
8	0.32^{ns}	0.23^{ns}	0.30^{ns}	0.22^{ns}	0.55^{**}	0.59^{**}	0.61^{**}	1							
9	0.20^{ns}	0.08^{ns}	0.17^{ns}	0.12^{ns}	0.43^{*}	0.63^{**}	0.53^{**}	0.87^{**}	1						
10	0.51^{**}	0.45^{*}	0.50^{**}	0.44^{*}	0.34^{ns}	0.64^{**}	0.49^{**}	0.63^{**}	0.66^{**}	1					
11	0.26^{ns}	0.06^{ns}	0.20^{ns}	0.24^{ns}	0.39^{*}	0.57^{**}	0.12^{ns}	0.46^{*}	0.51^{**}	0.43^{*}	1				
12	0.16^{ns}	0.04^{ns}	0.13^{ns}	0.01^{ns}	0.27^{ns}	0.49^{**}	0.49^{**}	0.49^{**}	0.29^{ns}	0.02^{ns}	0.38^{ns}	1			
13	0.51^{**}	0.44^{*}	0.50^{**}	0.42^{*}	0.37^{ns}	0.69^{**}	0.55^{**}	0.69^{**}	0.70^{**}	0.99^{**}	0.47^{**}	0.15^{ns}	1		
14	0.50^{**}	0.40^{*}	0.48^{*}	0.52^{**}	0.28^{ns}	0.58^{**}	0.43^{*}	0.35^{ns}	0.45^{*}	0.57^{**}	0.48^{**}	0.01^{ns}	0.55^{**}	1	
15	0.26^{ns}	0.14^{ns}	0.23^{ns}	0.16^{ns}	0.35^{ns}	0.74^{**}	0.33^{ns}	0.58^{**}	0.59^{**}	0.55^{**}	0.66^{**}	0.44^{*}	0.60^{**}	0.45^{*}	1

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively

۱. کلروفیل a، ۲. کلروفیل b، ۳. کلروفیل کل، ۴. کاروتنوئید، ۵. حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، ۶. ارتفاع بوته، ۷. تعداد ساقه جانبی، ۸. تعداد شاخه‌های گل‌دار، ۹. تعداد میوه در بوته، ۱۰. تعداد دانه در واحد سطح، ۱۱. عملکرد گل، ۱۲. وزن هزاردانه، ۱۳. عملکرد دانه، ۱۴. پروتئین، ۱۵. پرولین

1. Chlorophyll a, 2. Chlorophyll b, 3. Total chlorophyll, 4. Carotenoid, 5. Fv/Fm, 6. Plant height, 7. Lateral per plant, 8. Flowering branches per plant, 9. Fruits per plant, 10. Grains per unit area, 11. Flower yield, 12. 100 grain weight, 13. Grain yield, 14. Protein, 15. Proline

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، استفاده از تکنیک‌های مختلف پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته‌های مادری با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد و محرک شیمیایی، از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، بهبود تجمع اسیدآمینه پرولین و پروتئین محلول در برگ و افزایش اجزای عملکرد، باعث افزایش عملکرد گل و دانه در گاوزبان اروپایی شدند. اگرچه پیش‌تیمار بذور با استفاده از آب، اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم، با بهبود خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه تأثیر مثبتی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی داشت اما استفاده از اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی بوته مادری، به‌دلیل اثرات هم‌افزایی، تأثیر مثبت و معنی‌دار بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد در افزایش صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، زراعی و عملکردی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی داشت. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که پیش‌تیمار بذور توأم با محلول‌پاشی بوته مادری با تنظیم‌کننده‌های رشد و نیترات پتاسیم، قادر به تأمین شرایط لازم جهت افزایش عملکرد گل و دانه در گاوزبان اروپایی در شرایط مزرعه بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت زراعی جهت دست‌یابی به عملکرد بالا در تولید گیاهان دارویی باارزش مانند گاوزبان اروپایی و بهبود شرایط اقتصادی کشاورزان مدنظر قرار گیرد، از طرفی استفاده از نیترات پتاسیم به‌صورت پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی بوته مادری به‌دلیل کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد این کودها در خاک، می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار مناسب در جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی این گیاه مطرح باشد.

References

1. Abasi Sadr, S., Sharafi, S., & Hassanzadeh Ghorttapeh, A. (2018). Effect of drought stress and seed priming on some vegetative and reproductive traits of castor bean (*Ricinus Communis* L.) var Esfahan. *Journal of Crop Ecophysiology*, *12*(1), 75-88. (in Persian with English abstract).

2. Abbas Dokht, H., & Arefbeyki, M. (2015). The effects of hydropriming, planting depth and nitrogen split application on grain yield and it's components of 370 double cross hybrid corn in arid zone. *Journal of Plant Production*, *22*(1), 149-172. (in Persian with English abstract).
3. Abbas Dokht, H., Gholami, A., & Asghari, H. (2014). Halopriming and hydropriming treatments to overcome salt and drought stress at germination stage of corn (*Zea mays* L.). *Desert*, *19*(1), 27-34.
4. Abbas Dokht, H., Afshari, H., Owji, E., & Taheri, S. (2016). The effect of seed priming and different levels of nitrogen application on quantitative and qualitative yield of sunflower progress cultivar. *Crop Physiology*, *8*(29), 105-120. (in Persian with English abstract).
5. Abdi, L., Asghari, H. R., Tolyat Abolhassani, M., Amerian, M. R., & Naghdi Bodi, H. (2022). Effect of salicylic acid on growth and phytochemical characteristics of *Thymus daenensis* under drought irrigation. *Journal of Plant Process and Function*, *11*(48), 195-210. (in Persian with English abstract).
6. Aboutalebian, M. A., Ekbatani, G. Z., & Sepehri, A. (2012). Effects of on-farm seed priming with zinc sulfate and urea solutions on emergence properties, yield and yield components of three rain fed wheat cultivars. *Annals of Biological Research*, *3*(10), 4790-4796.
7. Ahmadi, M., & Bahrani, M. J. (2009). Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *5*(6), 761-775.
8. Ahmadi, Kh., Shojaeian, A., Omidi, H., Amini Dehaghi, M., & Azadbakht, F. (2022). The effect of salicylic acid and potassium nitrate on germination characteristics, photosynthetic pigments and seedling proline seedlings of two safflower cultivars under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(1), 247-257. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3593.1882
9. Ahmadpour Dehkordi, S., & Balouchi, H. R. (2013). Effect of seed priming on antioxidant enzymes and lipids peroxidation of cell membrane in Black cumin (*Nigella sativa*) seedling under salinity and drought stress. *Electronic Journal of Crop Production*, *5*(4), 63-85. (in Persian with English abstract).
10. AL-Amery, N. J., & Mohammed, M. M. (2017). Influence of adding ascorbic acid and yeast on growth and yield and rhizobium of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation with saline water. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, *10*(10), 23-28. https://doi.org/10.9790/2380-1010012328
11. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
12. Arvin, P. (2019). Study of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on physiological and morphological parameters and essential oils in savory plant (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), *32*(2), 260-279. (in Persian with English abstract).
13. Asadi Samani, M., Bahmani, M., & Rafieian Kopaei, M. (2014). The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of *Borago officinalis*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *7*(1), 22-28. https://doi.org/10.1016/S1995-7645(14)60199-1
14. Azadvari, H., Naeemi, M., Gholizadeh, A., & Nakhzari Moghaddam, A. (2020). Effect of application methods of salicylic acid on morphological characteristics, grain yield and essential oil of black cumin (*Nigella Sativa* L.) under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*(1), 125-137. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v18i1.82805
15. Azzedine, F., Gherroucha, H., & Baka, M. (2011) Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *7*(1), 27-37.
16. Bahram Nejad, R., & Saffari, M. (2014). The effects of different seed priming agents on morphological characteristics, yield, yield components and water extract of fennal (*Foeniculum vulgar* Mill) in water stress condition. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, *5*(17), 14-29. (in Persian with English abstract).
17. Barat Zadeh, S., Saki Nejad, T., & Babaei Nejad, T. (2019). Effect of potassium nano-chelate and ascorbic acid on grain yield and some qualitative characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L., Kamran cultivar). *Journal of Plant Production science*, *9*(2), 149-160. (in Persian with English abstract).
18. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-208. https://doi.org/10.1007/bf00018060
19. Batool, A., Ziaf, K., & Amjad, M. (2015). Effect of halopriming on germination and vigor index of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, *2*(7), 1-8.
20. Boniadi, R., & Jalili, F. (2014). The effect of potassium priming and micronutrient foliar application on yield and yield components of sunflower. *Journal of Research in Crop Sciences*, *7*(25), 111-124. (in Persian).
21. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3
22. Dalil, B. (2014). Response of medicinal plants to seed priming. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Science*, *4*(2), 741-745.
23. Daneshmand, F. (2013). The effect of ascorbate pre-treatment on tomato plant under drought stress: oxidative stress, osmolytes, phenolics and protein. *Iranian Journal of Plant Biology*, *5*(18), 53-66. (in Persian with English

abstract).
24. Darvizheh, H., Zahedi, M., Abaszadeh, B., & Razmjoo, J. (2019). Effects of foliar application of salicylic acid and spermine on the phenological stages and caffeic acid derivatives yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *35*(5), 705-720. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.124085.2433
25. Dastborhan, S., Ghassemi Golezani, K., & Yeganehpoor, F. (2019). Changes in germination and growth indices of borage (*Borago officinalis* L.) in response to seed priming and different irrigation intervals. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *6*(1), 1-18. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22124/jms.2019.3584
26. Dejam, M., Rajaie, M., Johari, Sh., & Tahmasebi, S. (2020). The role of nitrogen, calcium and potassium foliar application on reduction of salinity advers effect in cumin (*Cuminum cyminum* L.) under hydroponic condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(1), 237-250. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2019.1726.1464
27. Eini, M., Sheikhzade, P., Zare, N., & Samadzadeh, A. (2017). *The effect of pottasium nitrate (KNO3) priming on periwinkle seed germination and seedlings growth*. 1st International and 5th National Conference on Organic VS. Conventional Agriculture, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
28. El-Bassiony, A. M., Fawzy, Z. F., Samad, E. H., & Riad, G. (2010). Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. *Journal of American Science*, *6*(12), 722-729.
29. El-Hawary, M. M., Hashem, O. S., & Hasanuzzaman, M. (2023). Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat. *Agronomy*, *13*, 1-19. https://doi.org/10.3390/agronomy13020493
30. Eskandari Zanjani, K., Shirani Rad, A. H., Moradi Agdam, A., & Taherkhani, T. (2013). Effect of salicylic acid application under salinity conditions on physiologic and morphologic characteristics of artemisia (*Artemisia annua* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, *6*(4), 415-428. (in Persian).
31. Fani, E., & Hajihashemi, Sh. (2020). Effect of foliar application of silica on some physiological traits of (*Physorrhynchus Chamaerapistrumare* L.) medicinal plant. *Journal of Plant Production Science*, *10*(1), 92-100. (in Persian with English abstract).
32. Farahvash, F., Mirshekari, B., Farzaniyan, M., & Hoseainzadeh Moghbeli, A. H. (2015). Effect of zinc sulfate and ascorbic acid on some morphophysiological traits of *Echinacea purpurea* (Purple coneflower) under water deficit conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(1), 57-78. (in Persian with English abstract).
33. Fathi, Sh., & Hasanpour, M. (2019). Effect of salinity stress on germination indices of Anison (*Pimpinella anisum* L.) medicinal plant. *Journal of Seed Research*, *9*(3), 45-55. (in Persian with English abstract).
34. Ghasemi Pirbaloti, A., Golparvar, M., Ryazdehkordi, M., & Navid, A. (2007). Effect of different treatments on sleep failure and germination stimulation of five medicinal plants in Chaharmahal va Bakhtiari. *Journal of Research and Development*, *74*(20), 186-192. (in Persian).
35. Ghasemi Pirbalouti, A., Samani, M. R., Hashemi, M., & Zeinali, H. (2014). Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. *Plant Growth Reguluation*, *72*, 289-301. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9860-1
36. Ghilavizadeh, A., Hadidi Msouleh, E., Zakerin, H., & Valadabadi, S. A. (2021). Effect of drought stress and different concentrations of salicylic acid on yield, yield components, and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Agroecology*, *13*(1), 89-101. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v12i3.77417
37. Gholami, H., Parsa, M., Khajeh Hosseini, M., & Khazaie, H. R. (2018). Effect of urea and micro elements foliar application on chickpea seed germination, seedling emergence, and seedling vigour of (*Cicer arietinum* L). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *6*(2), 57-66. https://doi.org/10.22034/ijsst.2018.116364
38. Hafez, E. M., & Gharib, H. S. (2016). Effect of exogenous application of ascorbic acid on physiological and biochemical characteristics of wheat under water stress. *International Journal of Plant Production*, *10*, 579-596. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ijpp.2016.3051
39. Hatami, H. (2014). Effect of seed priming and potassium fertilizer on yield and yield components of canola in different planting dates. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, *11*(1), 17-26. (in Persian).
40. Hatami, E., Einali, A., Raissi, A., & Pir, H. (2021). Pretreatment of psyllium (*Plantago ovata*) seeds with salicylic acid and physiological and biochemical responses of seedlings to salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *13*(49), 21-42. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22108/IJPB.2021.128482.1252
41. Hegazi, E., Samira, S., Mohamed, M., El-Sonbaty, M. R., Abd El-Naby, S. K. M., & El-Sharony, T. F. (2011). Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status and yield and fruit quality of Olive cv. "Picual". *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, *3*(3), 252-258.
42. Heidari, H., Alizadeh, Y., & Fazeli, A. (2019). Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean (*Vigna radiata* L.) under drought stress condition.

Journal of Plant Production, *26*(2), 127-141. (in Persian). https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14863.2327

43. Helali Soltanahmadi, F., Amerian, M. R., Ghiyasi, M., & Abbasdookht, H. (2018). Effects of seed priming on yield, yield components, and concentration of mineral phosphorus under drought stress in *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *34*(4), 565-578. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.116528.2214
44. Hernandez, A. N., Hernandez, A., & Heydrich, M. (1995). Selection of rhizobacteria for use in maize cultivation. *Cultivar Tropicales*, *6*, 5-8.
45. Heydari, M., Tohidimoghaddam, H. R., Ghooshchi, F., Modarres Sanavy, S. A. M., & Kasraei, P. (2023). Effect of seed priming and foliar application of growth regulators on morphophysiological changes and safflower grain and oil yield under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(4), 1073-1089. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2021.4216.1992
46. Hosseini, S. N., Jalilian, J., & Gholinezhad, E. (2021). Impact of some stress modulators on morphological characteristics, quantitative and qualitative traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) forage under water deficit stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 111-128. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.13101
47. Jabbari, M., Khayyat, M., Fallahi, H. R., & Samadzadeh, A. (2017). Influence of saffron corm soaking in salicylic acid and potassium nitrate on vegetative and reproductive growth and its chlorophyll fluorescence indices. *Saffron Agronomy & Technology*, *5*(1), 21-35. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2017.38893
48. Jabeen, N., & Ahmad, A. (2011). Foliar application of potassium nitrate affects the growth and nitrate reductase activity in sunflower and safflower leaves under salinity. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, *39*(2), 172-178. https://doi.org/10.15835/nbha3926064
49. Kalantarahmadi, S., & Shoushi Dezfouli1, A. A. (2020). Effects of drought stress and foliar application of ascorbic acid, salicylic acid, methanol and post-harvest storage on seed yield and seed vigor of hyola401 rapeseed cultivar. *Journal of Crop Ecophysiology*, *14*(3), 109-130. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.30495/jcep.2021.681009
50. Keshavarz, H., & Modarres Sanavy, S. A. M. (2016). How salicylic acid modulate photosynthetic pigments, yield and yield components of canola plant. *Journal of Genetic Resources*, *2*(1), 1-9. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22080/jgr.2016.1475
51. Khan, N. A., Shabian, S., Masood, A., Nazar, A., & Iqbal, N. (2010). Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mung bean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, *1*, 1-8. https://doi.org/10.4081/pb.2010.e1
52. Khoshbakht, D., Ramin, A. A., & Baghbanha, M. R. (2011). Possible to reduce the effect of salinity on bean plant using acetyl salicylic acid. *Journal of processing of crops and gardens*, *2*(5), 16-28. (in Persian).
53. Lawan Gana, A., Nulit, R., Ibrahim, M. H., & Yong Seok Yien, C. (2021). Efficacy of KNO3, SiO2 and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. *Scientific Reports*, *11*(3864), 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-021-83434-3
54. Ma, L., & Shi, Y. (2011) Effects of potassium fertilizer on physiological and biochemical index of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Energy Procedia*, *5*, 581-586. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.102
55. Mahdavi, A., Masoud Sinaki, J., Amini dehaghi, M., Rezvan, Sh., & Damavandi, A. (2018). Effect of nano, chemical, and biological fertilizers on the yield and quality of sesame seeds under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, *20*(1), 263-281. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.231648.1718
56. Mahmoudi, F., Sheikhzadeh Mosaddegh, P., Zare, N., & Esmaielpour, B. (2017). The effect of hydropriming on germination, growth and antioxidant enzymes activity of borage (*Borago officinalis* L.) seedling under cadmium stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(1), 253-266. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.205921.654102
57. Mahmoudi, F., Sheikhzadeh Mosaddegh, P., Zare, N., & Esmaielpour, B. (2019). The effect of hormone and hydro priming on seed germination, growth and biochemical properties of borage seedling (*Borago officinalis* L.). *Plant Process and Function*, *7*(27), 165-180. (in Persian).
58. Mizani, A., Sinaki, J. M., Rezvan, Sh., Abedini Esfahlani, M., & Damavandi, A. (2022). Study of physiological, growth, and yield responses of sesame to the application of potassium nano-fertilizer, foliar application of fulvic acid and chitosan under drought Stress. *Journal of Crops Improvement*, *24* (4), 1161-1178. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2022.331235.2618
59. Mohtashami, F., Pouryousef, M., Andalibi, B., & Shekari, F. (2015). Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on yield and essence of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *31*(5), 841-852. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103620
60. Mohtashami, F., & Tadayon, M. R. (2020). Evaluation of the effect of jasmonic acid and ascorbic acid on some morphophysiological traits of safflower genotypes under deficit irrigation regimes. *Journal of Plant Process and*

Function, *9*(35), 39-56. (in Persian with English abstract).

61. Motamedi, M., & Bani Saidi, A. K. (2014). Effect of salicylic acid on germination and seedling growth of wheat cultivars under salt stress conditions (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant production Sciences*, *3*(2), 43-57. (in Persian with English abstract).
62. Mousavi Ouri, M., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Modarresi, M., Permon, Gh., Ebadi, A., & Kohanmoo, M. A. (2021). Effect plant growth regulator (salicylic acid and jasmonic acid) on yield and components yield of Milk thistle (*Silybum marianum* L.) under heat stress conditions. *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), *34*(4), 957-971. (in Persian with English abstract).
63. Naghizadeh, M., Kabiri, R., & Maghsoud, K. (2022). Effects of melatonin and ascorbic acid foliar application on grain yield and mucilage of *Plantago ovata* Forssk. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(6), 908-919. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2021.355708.305
64. Nourolahi, P., Abdali Mashhadi, A., Koochekzadeh, A., & Gharineh, M. H. (2019). Effect of sulfuric acid, humic acid and potassium nitrate foliar spraying on petal color quality, antioxidant activity, carotenoids and flower yield in marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, *9*(3), 95-111. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.9.3.21641
65. Parmoon, Gh., Ebadi, A., Ghaviazm, A., & Miri, M. (2013). Effect of seed priming on germination and seedling growth of Chamomile under salinity. *Crop Production*, *6*(3), 145-164. (in Persian with English abstract).
66. Poorreza, A., & Omidi, H. (2018). The effect of seed-priming on germination indices and photosynthetic and carotenoids pigments of summer savory under calcium chloride salinity stress condition. *Agroecology Journal*, *14*(2), 51-65. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/AEJ.2018.543611
67. Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G., & Janda, T. (2009). Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *47*, 224-231. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.11.007
68. Rabani Foroutagheh, M., Hamidoghli, Y., & Mohajeri, S. A. (2014). Effect of the split foliar fertilization on quality and quantity of active constituents in saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(9), 1872-1878. https://doi.org/10.1002/jsfa.6506
69. Rajabi Dehnavi, A., & Zahedi, M. (2020). Effects of foliar application of different ascorbic acid concentrations on the response of sorghum to salinity. *Plant Process and Function*, *9* (35), 223-241. (in Persian with English abstract).
70. Rezaei Chiyaneh, E., & Pirzad, A. (2014). Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 427-437. (in Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i3.42218
71. Rostami, G., Moghaddam, M., Narimani, R., & Mehdizadeh, L. (2018). The effect of different priming treatments on germination, morphophysiological, and biochemical indices and salt tolerance of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(4), 1107-1123. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2018.1072.1213
72. Rostami, M., Javadi, A., & Hosseinizadeh, S. M. (2020). Induction of resistance to salinity stress in the produced seeds of wheat after foliar application of nano-zinc oxide and nano-iron oxide. *Journal of Plant Research*, *33*(3), 593-606. (in Persian with English abstract).
73. Rouhi, H. R., Vafaei, M. H., Saman, M., & Shahbodaghloo, A. R. (2021). Study of ascorbic acid priming on germination and biochemical indexes of sheep fescue (*Festuca ovina*) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *10*(1), 29-42. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/ijsst.2020.128242.1303
74. Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Shekhzadeh, P., Sabaghnia, N., & Mohebodini, M. (2020). The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions. *Crop Production*, *12*(4), 137-156. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16396.2221
75. Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Sheikhzade Mosadegh, P., Sabaghnia, N., & Mohebodini, M. (2021). The effect of foliar application of Nano material and salicylic acid on spring rapeseed yield under water limitation condition. *Journal of Crop Improvement*, *23*(1), 113-126. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2020.299040.2358
76. Sanei, S. J., & Razavi, S. E. (2018). Effects of potassium nitrate on growth and photosynthetic pigments of basil infected by Colletotrichum gloeosporioides. *Horticultural Plants Nutriton*, *1*(1), 49-58. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22070/hpn.2018.454
77. Sartip, S., & Sirousmehr, A. R. (2017). Evaluation of salicylic acid effects on growth, yield and some biochemical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under three irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*, 548-558. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2017.21.1007
78. Shabbir, I., Shakir, M., Ayub, M., Tahir, M., Tanveer, A., Shahbaz, M., & Hussain, M. (2013). Effect of seed priming agents on growth, yield and oil contents of fennel (*Foeniculum Vulgare* Mill.). *Advance in Agriculture*

and Biology, *1*(3), 58-62.

79. Shahbazi, Z., Salehi, A., Hazrati, S., & Movahedi Dehnavi, M. (2019). Enhancing the quality and yield of European borage (*Borago officinalis* L.) by simultaneous application of granulated compost, vermicompost and mycorrhiz. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *6*(2), 283-298. https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.274604.28
80. Sheikhzadeh, P., Shafiyar, H., Khomari, S., & Mohammad Doost, H. R. (2019). Improvement of seed germination, growth and biochemistry characteristic of borage seedling from deteriorated seeds under salinity stress using ascorbic acid pretreatment. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *8*(2), 155-171. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/ijsst.2019.121037.1177
81. Shekari, F., Baljani, R., Saba, J., Afsah, K., & Shekari, F. (2010) .Effect of seed priming with salicylic acid on growth characteristics of borago (*Borago officinalis*) plants seedlings. *Journal New Agriculture Science*, *6*(18), 47-53. (in Persian).
82. Szczerba, M. W., Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2008). K^+ transport in plants: physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology*, *166*, 447-466. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.12.009
83. Tabatabaeian, J., Hassanian Badi, S., & Kadkhodaee, A. (2020). Effect of micronutrient foliar application on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, *8*(2), 147-163. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2019.179188.1342
84. Taghizadeh Tabari, Z., Asghari, H., Abbasdokht, H., & Babakhanzadeh, E. (2021). Effects of biochar and salicylic acid on some characteristics of (*Borago officinalis* L.) in water deficit condition. *Journal of Plant Production*, *28*(1), 93-113. (in Persian). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.127841.2642
85. Tavili, A., Safari, B., & Saberi, M. (2009). Comparing effect of gibberellic acid and potassium nitrate application on germination enhancement of *Salsola rigida*. *Rangeland*, *3*(2), 280-272. (in Persian with English abstract).
86. Vatankhah, E., Kalantari, B., & Andalibi, B. (2016). Effect of methyl jasmonate on some physiological and biochemical responses of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, *5*(17), 157-17. (in Persian with English abstract).
87. Yadollahi, P., & Asgharipour, M. R. (2015). Effect of water salinity and organic and chemical fertilizer on morphological and agronomic characteristics of borage (*Borago officinalis*). *Journal of Plant Ecophysiology*, *7*(21), 189-204. (in Persian).
88. Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., & Sheikhpour, S. (2015). Effects of ascorbic acid on growth and photosynthetic pigments of basil under arsenic toxicity. *Journal of Crop Ecophysiology*, *8*(4), 553-566. (in Persian with English abstract).
89. Yadollahi, P., Javaheri, M. A., & Asgharipour, M. R. (2018). Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar spraying on yield and qualitative characteristics of summer squash (*Cucurbita pepo*) at different levels of drought stress. *Plant Ecophysiology*, *10*(35), 87-101. (in Persian with English abstract).
90. Zahoor, R., Zhao, W., Abid, M., Dong, H., & Zhou, Z. (2017) Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) functional leaf under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, *215*, 30-38. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.05.001